

Agriculture et Agroalimentaire Canada — Agriculture and Agri-Food Canada
Direction générale de la recherche — Research Branch

# LA SANTÉ DE L'EAU

## Vers une agriculture durable au Canada

Canada


Contributes to reporting on the state of Canada's environment
Contribue aux rapports sur l'état de l'environnement au Canada

# LA SANTÉ DE L'EAU

Vers une agriculture durable au Canada

D.R. Coote
et
L.J. Gregorich
(dir. de publ.)

Direction générale de la recherche

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Publication 2020/F

2000

*Disponible auprès de*
Donna Dewan
Promotion des stratégies
Direction de la planification et de
la coordination de la recherche
Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
930, avenue Carling, pièce 777
Ottawa (Ontario) K1A 0C5

Tél. : (613) 759-7787
Téléc. : (613) 759-7768
Courriel : dewandm@em.agr.ca

Version électronique disponible
en mai 2000 à l'adresse,
www.agr.ca/research/branch

Publication 2020/F
N° de catalogue A15-2020/2020E
ISBN 0-662-28489-5
Impression 2000 IM:03/2000

This publication is also available in
English under the title
*The health of our water: Toward sustainable agriculture in Canada*

*Rédacteur scientifique*

L.J. Gregorich
Gregorich Research

*Concepteures*

Ana-Francine Béland

Johanne Sylvestre-Drouin
Promotion des stratégies
Agriculture et Agroalimentaire Canada

*Chefs de production*

Sharon Rudnitski
Promotion des stratégies
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Jane T. Buckley
Gilpen Editing Service

*Réviseure*

Jacinthe Laferrière
Promotion des stratégies
Agriculture et Agroalimentaire Canada

# Table des matières

## Référence exacte

D.R. Coote et L.J. Gregorich (dir. de publ.) 2000. La santé de l'eau — vers une agriculture durable au Canada. Direction de la planification et de la coordination de la recherche, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario)

Chaque chapitre peut être cité sous le titre :

[Nom(s) du (des) auteur(s) du chapitre]. 2000. [Titre du chapitre]. Pages [ ... ]-[ ... ] *dans* D.R. Coote et L.J. Gregorich (dir. de publ.) 2000. La santé de l'eau — vers une agriculture durable au Canada. Direction de la planification et de la coordination de la recherche, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario)

# Avant-propos

Bon nombre de structures de notre monde sont tributaires de l'eau, notamment les organismes naturels, comme les communautés biologiques, et les structures humaines dont les villes et les cités, l'industrie et l'agriculture. Tous ces utilisateurs agissent sur l'eau et tous sont concernés par les dossiers de la quantité et de la qualité de l'eau. Cependant, comme cette ressource est relativement abondante au Canada, il se peut qu'on la prenne pour acquis et qu'on l'utilise sans précaution appropriée.

Les agriculteurs sont sensibles aux questions de l'eau, car leurs cultures et leurs bêtes ont besoin de quantités suffisantes d'eau de bonne qualité. Dans la plupart des régions du Canada, les pluies fournissent aux cultures l'eau dont elles ont besoin. Cependant, dans de nombreuses zones, l'eau provient aussi de l'écoulement superficiel, des cours d'eau comme les rivières et les fleuves ou de sources souterraines. L'eau, si elle est trop abondante ou en trop faible quantité ou encore fournie à un mauvais moment, diminue la production agricole. Les extrêmes, en l'occurrence les sécheresses ou les inondations, peuvent avoir des effets désastreux. Les agriculteurs et d'autres résidents des régions rurales ainsi que les industries doivent partager cette ressource avec les poissons et la faune ainsi qu'avec ceux qui profitent des nombreux charmes récréatifs du paysage rural.

L'eau est affectée naturellement, au cours du temps, de diverses manières. L'érosion altère les constituants qu'elle charrie. Les lixiviats qui percolent jusqu'aux eaux souterraines en changent la composition chimique. De plus, le changement climatique provoque l'apparition de nouveaux schémas d'écoulement. Bon nombre de ces modifications à long terme peuvent être accélérées ou aggravées par l'activité humaine. Par exemple, la quantité ou le moment de l'approvisionnement peuvent changer à des périodes critiques de l'année, ou encore l'eau peut être contaminée par des produits chimiques ou des organismes vivants et son utilité s'en trouver réduite. Ces changements peuvent être subtils et passer au départ inaperçus.

Il est important de contrôler la qualité de l'eau afin de pouvoir comprendre les changements qui y surviennent, car ce n'est qu'ainsi que nous pourrons prendre les mesures correctives qui s'imposent. *La santé de l'eau* est un document d'importance qui synthétise une forte somme d'informations utiles sur l'état des eaux rurales au Canada. Entre autres, il montre que la qualité de l'eau est intimement liée à la qualité du sol, et qu'elle s'améliore lorsque des méthodes de conservation du sol sont appliquées.

Fruit de la contribution de près de 100 auteurs, ce rapport met à profit l'expérience et les connaissances de spécialistes d'un large éventail de domaines, entre autres, de l'agronomie, de la science des sols, du génie agricole, de la politique agricole, de l'hydrogéologie, de la météorologie, de la chimie de l'eau, de la biologie aquatique et de la conservation de la faune. Grâce à cette diversité de spécialités, le sujet reçoit un traitement équilibré, avec une juste considération pour les nombreux points de vue défendus par divers intervenants. À partir d'une variété de résultats de recherche et d'études de cas, *La santé de l'eau* brosse un vaste tableau de la quantité et de la qualité de l'eau au Canada et de l'effet qu'y exerce l'agriculture et vice versa. Il aidera à déterminer les problèmes qui nécessitent une action immédiate et servira également de point de repère pour mesurer les changements futurs.

Ce document étaye la réputation dont jouit le Canada à l'échelle internationale, soit d'un pays à l'avant-garde de la recherche et de l'établissement de rapports sur l'environnement. Il est d'un précieux apport à la mine d'information sur les ressources naturelles et l'environnement dont disposent les agriculteurs, le public non agricole, les politiciens, les organismes gouvernementaux et les institutions éducatives.

*Harry M. Hill*
*Chargé de cours principal, Saskatchewan Institute of Public Policy*
*Ancien directeur général de l'Administration du rétablissement agricole des Prairies et*
*Président du Comité national canadien de l'irrigation et du drainage*



# Préface

L'eau est un élément indispensable à la vie qui revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines. Le Canada dispose d'abondantes réserves d'eau douce. Or, l'eau peut être rare à certains endroits ou d'une qualité qui ne convient pas à certains usages. Il est certain que l'augmentation de la demande d'eau pour la consommation humaine accentuera les contraintes sur cette ressource. En outre, l'évolution des forces naturelles, comme un changement climatique possible, risque elle aussi d'avoir un effet sur l'approvisionnement en eau et sa distribution. Il est donc essentiel d'analyser la quantité et la qualité des réserves d'eau au Canada et de trouver le moyen de gérer cette ressource pour en assurer la durabilité.

L'intérêt suscité par les enjeux qui se rattachent à la quantité et à la qualité de l'eau est un élément crucial du programme environnemental de l'agriculture qui prend de l'ampleur au Canada. Cet intérêt ressort clairement du *Rapport de 1990 présenté aux ministres de l'Agriculture* par le Comité fédéral–provincial pour un environnement durable en agriculture, qui souligne l'importance de ces questions pour la durabilité du secteur agroalimentaire. C'est à l'issue de la publication de ce rapport qu'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a élaboré sa stratégie de développement durable, *L'Agriculture en harmonie avec la nature : stratégie de développement durable de l'agriculture et de l'agroalimentaire au Canada*. Celle-ci souligne l'importance qu'il y a à bien gérer l'environnement et les ressources, en particulier la qualité de l'eau, aussi bien dans les exploitations agricoles qu'en dehors. Le plan d'entreprise de la Direction générale de la recherche d'AAC préconise lui aussi l'utilisation judicieuse des ressources naturelles, notamment le maintien de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.

Par le passé, l'agriculture était moins respectueuse des ressources naturelles dont elle dépend. De nos jours, pour bien les gérer, il faut commencer par connaître l'état de nos ressources. Il faut ensuite trouver le moyen de les préserver ou de les améliorer. Conformément à cet objectif, AAC a mené à bien un projet visant l'élaboration d'un ensemble d'indicateurs agroenvironnementaux. Ils sont utiles dans l'évaluation de l'état actuel des ressources agricoles et l'analyse de la dynamique de la performance écologique de l'agriculture. Deux des indicateurs portent sur le risque de contamination de l'eau par les substances provenant de l'agriculture et, par conséquent, de la menace que l'agriculture fait peser sur la qualité de l'eau. Les résultats de ce projet, énoncés dans *Durabilité écologique de l'agriculture canadienne — Compte rendu du projet sur les indicateurs agroenvironnementaux*, démontrent amplement un resserrement de l'éthique de gestion dans le secteur agroalimentaire et une utilisation accrue des pratiques d'agriculture de conservation par rapport à ce qui se faisait voilà 15 ans. Ils désignent aussi les secteurs géographiques et les modes d'exploitation qui méritent plus d'attention alors que nous visons une plus grande durabilité de l'environnement dans l'agriculture canadienne.

La *santé de l'eau* vient s'ajouter à *La santé de nos sols* et à *La santé de l'air que nous respirons*, trois publications qui illustrent le rapport entre l'agriculture et les ressources naturelles. Toutefois, la garantie d'approvisionnements suffisants en eau propre n'est pas seulement indispensable à l'agriculture, mais également à la santé humaine, à l'intégrité des écosystèmes et à la durabilité de nombreuses activités économiques. C'est ainsi que les problèmes d'eau sont au coeur des recherches et des politiques de nombreux autres ministères fédéraux, notamment d'Environnement Canada et de Santé Canada, sans oublier d'autres paliers gouvernementaux. Contrairement donc aux autres publications de cette série et en raison de la nature des recherches menées sur l'eau au Canada, *La santé de l'eau*, loin de rendre compte surtout des recherches menées par AAC, s'inspire abondamment de sources disséminées dans l'ensemble du pays.

Cet ouvrage porte le symbole des rapports sur l'état de l'environnement (REE), car il satisfait aux lignes directrices du programme de rapports REE du gouvernement fédéral. Les deux principaux objectifs des rapports sur l'état de l'environnement sont de stimuler l'élément scientifique des politiques et des décisions et d'instruire les Canadiens sur l'état de leur environnement. *La santé de l'eau* répond aux impératifs des rapports sur l'état de l'environnement en ce qu'il propose un aperçu facilement compréhensible d'une question environnementale importante pour les non-scientifiques, qu'il analyse les principales tendances des problèmes relatifs à l'eau, qu'il étudie ses liens avec d'autres questions et qu'il décrit les efforts du gouvernement, du secteur privé et d'autres en vue de résoudre le problème de l'eau et d'assurer la durabilité de l'environnement.

Nous avons le plaisir de vous présenter ce rapport en espérant qu'il rendra de précieux services à nos nombreux partenaires intéressés alors que nous nous employons à atteindre les objectifs de la durabilité écologique du Canada, surtout dans le domaine de l'agriculture.

*J.B. Morrissey*
Sous-ministre adjoint
Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada

*J.Z. Losos*
Sous-ministre adjoint
Direction générale de la protection de la santé
Santé Canada

*Karen Brown*
Sous-ministre adjoint
Service de la conservation de l'environnement
Environnement Canada

*Marc Denis Everell*
Sous-ministre adjoint
Secteur des sciences de la Terre
Ressources naturelles Canada

*Bernie Sonntag*
Directeur général
Administration du rétablissement agricole des Prairies
Agriculture et Agroalimentaire Canada

*John Davis*
Sous-ministre adjoint
Sciences
Pêches et Océans Canada

# Résumé

Une agriculture durable est impossible sans une bonne gestion de notre eau. Le présent document récapitule nos connaissances actuelles sur l'état de cette ressource dans les régions agricoles du Canada. Pour ce faire, les auteurs

- décrivent les ressources hydriques dans les régions rurales et la façon dont elles sont utilisées
- abordent les concepts sous-jacents à l'évaluation de la qualité de l'eau, puis examinent la qualité de l'eau superficielle et souterraine en rapport avec les activités agricoles
- exposent les principaux problèmes écologiques liés à l'eau qui sont nés de la coexistence de l'agriculture et des écosystèmes naturels dans le milieu rural
- étudient des façons d'optimiser la disponibilité et la qualité de l'eau pour les différents usagers en concurrence pour cette ressource
- expliquent des façons de gérer l'excès d'eau pour améliorer le drainage et réduire au maximum les inondations
- présentent les limites qu'imposent la disponibilité et la qualité de l'eau à l'expansion de l'agriculture et aux autres formes de développement dans les régions rurales.

## Les ressources en eau du Canada rural

Dans les régions rurales, l'eau est disponible durant une brève partie de son cycle naturel qui l'amène de l'atmosphère à la surface de la terre et vice versa. À cause de la diversité de son climat et de sa topographie, le Canada offre toute une gamme de conditions d'humidité d'un bout à l'autre de son territoire, des zones maritimes humides des côtes ouest et est aux régions semi-arides de l'intérieur de la Colombie-Britannique et des Prairies. Les économies rurales dépendent de la combinaison des pluies et de la fonte des neiges, des eaux de surface et des eaux souterraines. Les régions très sèches ont besoin d'être irriguées pour assurer une agriculture productive, tandis qu'un drainage amélioré est nécessaire dans les régions particulièrement humides pour permettre la culture des champs. Les eaux souterraines dans certains aquifères, surtout dans les Prairies, sont naturellement de piètre qualité et ne se prêtent ni à la consommation humaine ni à l'irrigation. Pour pouvoir disposer d'eau au besoin, on stocke souvent de l'eau de surface dans des réservoirs ou des bassins et, parfois, on la détourne vers une autre région. Lorsque des eaux traversent les limites provinciales ou les frontières internationales, il existe des ententes qui en régissent les débits et la qualité.

## L'utilisation de l'eau

L'eau est nécessaire pour tous les organismes vivants. Elle joue un rôle important dans un grand nombre de processus naturels et d'opérations humaines, et est indispensable dans une multitude de réactions physiques et chimiques. L'eau des précipitations et de la fonte des neiges est utilisée directement par les cultures, mais, pour répondre aux besoins du bétail, des fermes, des ménages et des industries rurales, il faut en tirer des sources superficielles et souterraines. On la puise également de ces sources pour irriguer les champs dans les régions sèches ainsi que, les années de sécheresse, les cultures de haute valeur dans d'autres parties du pays. L'eau utilisée en élevage sert surtout à abreuver le bétail, mais aussi à nettoyer les installations et l'équipement ainsi qu'à diluer le fumier. À l'échelle nationale, l'agriculture retire du circuit relativement peu d'eau (9 %) par rapport à la production d'énergie thermique (63 %) et à la fabrication industrielle (16 %). Toutefois, elle consomme la majeure partie de ce qu'elle utilise, ne retournant que 30 % de cette quantité à sa source d'où elle peut être puisée par d'autres utilisateurs. La plupart des agriculteurs et des gens qui habitent la campagne sont responsables de leur propre approvisionnement en eau. Leur usage ménager se compare à celui des citadins, mais, durant les périodes de sécheresse, les pénuries se font généralement sentir ici plus rapidement qu'en ville. Les autres utilisateurs d'eau des régions rurales sont, notamment : les petites villes et les villages; les industries minière, pétrolière et gazière; les entreprises aquicoles et les plaisanciers. Les utilisations naturelles, comme la pêche et l'habitat faunique, ne sont pas à négliger.

## La qualité de l'eau

La définition d'eau de bonne qualité dépend de l'utilisation prévue et du risque acceptable associé à des contaminants connus ou potentiels. La plupart des lignes directrices en matière de qualité de l'eau reposent sur des concentrations chimiques ou sur le nombre de microorganismes présents. Une approche plus holistique considère toutes les propriétés de l'eau — physiques, chimiques et biologiques —

ainsi que leurs effets combinés. Les programmes nationaux de surveillance de la qualité de l'eau ont été grandement réduits ces dernières années, tout comme les programmes mis en oeuvre par de nombreux gouvernements provinciaux. La surveillance est maintenant le plus souvent réalisée conjointement par plusieurs partenaires, dont les divers paliers d'administration publique, les groupes d'utilisateurs et les universités, qui se concentrent sur certains problèmes ou sur certains bassins hydrographiques. Bien que le rôle de l'agriculture dans la diminution de la qualité de l'eau soit sans doute important, son impact peut être difficile à mesurer à cause de la nature de cette activité ainsi que de la diversité des terres, du climat et des pratiques agricoles observables d'un bout à l'autre du pays. L'agriculture elle-même dépend de la disponibilité d'une eau de bonne qualité et risque de voir sa production baisser si cette ressource est compromise.

## La qualité de l'eau de surface

Les méthodes de conservation du sol adoptées au cours des 15 à 20 dernières années ont réduit l'érosion par le vent et l'eau et par le fait même la quantité de sol entrant dans les voies d'eau. En diminuant la sédimentation, on se trouve à réduire également la contamination de l'eau par des substances attachées aux particules de sol, comme le phosphore, les pesticides et les bactéries. Au Canada, la quantité de sédiments entrant dans les eaux de surface à partir des terres agricoles est la plus faible dans les Prairies et la plus forte dans les régions productrices de pommes de terre des provinces de l'Atlantique. Si l'azote atteint rarement des concentrations toxiques dans les eaux superficielles, il peut, avec le phosphore, causer l'eutrophisation. Les concentrations d'éléments nutritifs dans les eaux de surface dépassent les limites fixées dans les lignes directrices en matière de qualité de l'eau dans certaines régions exploitées intensivement où de larges quantités de fumier et d'engrais sont employées. Les pesticides s'introduisent dans les eaux de surface à la faveur du ruissellement et du dépôt des particules atmosphériques. Les concentrations de pesticides dépassent rarement, d'après les mesures effectuées, les limites fixées pour l'eau potable. Les limites fixées pour l'irrigation et pour la protection de la vie aquatique sont parfois dépassées. La contamination par les bactéries d'origine agricole est fréquente. La concentration des bactéries est habituellement élevée dans les eaux de ruissellement des champs sur lesquels on a appliqué du fumier, même si l'abondance de l'écoulement de surface n'a pas été associée directement à la densité animale. La contamination des eaux de surface par les métaux lourds tire son origine principalement de sources naturelles et n'a pas été liée avec certitude à des pratiques agricoles, y compris l'épandage de boues d'égouts.

## La qualité de l'eau souterraine

Le principal impact de l'agriculture sur la qualité des eaux souterraines est la contamination par les nitrates. Les nitrates sont présents dans presque toutes les eaux souterraines situées sous des terres agricoles, mais habituellement à des concentrations inférieures aux *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*. En général, les concentrations sont particulièrement élevées dans les régions où l'on trouve une production intensive de cultures très exigeantes en azote, des modes d'élevage intensifs, des sols perméables et des champs irrigués, ou encore des pluies abondantes. Dans des enquêtes sur l'eau de puits réalisées d'un bout à l'autre du pays, la proportion des puits où les concentrations de nitrates excédaient les limites fixées variait énormément (entre 1 et 4 % approximativement). Une comparaison avec des données recueillies antérieurement en Ontario et en Alberta semble indiquer que les concentrations de nitrates dans les puits n'ont pas changé de façon marquée au cours des 40 à 50 dernières années. On a constaté une marge de variation similaire dans la proportion de puits contaminés par des bactéries. En Ontario, toutefois, la comparaison avec des données précédentes porte à croire que la présence de bactéries dans l'eau de puits a presque doublé au cours de la même période. La contamination des puits par les nitrates et les bactéries résulte souvent d'une construction défectueuse. Elle peut provenir soit de sources ponctuelles, comme des fosses septiques qui fuient ou des tas de fumier à ciel ouvert, soit de sources diffuses, comme des champs sur lesquels on épand du fumier et des engrais. On trouve des pesticides dans l'eau souterraine de la plupart des endroits où ils sont utilisés, mais presque toujours à des concentrations bien inférieures aux lignes directrices.

## Les problèmes écologiques

Les effets de l'agriculture sur les écosystèmes aquatiques sont moins bien documentés que son impact sur la qualité des eaux superficielles et souterraines. Ces problèmes écologiques, il est préférable de les voir dans le contexte du bassin hydrographique. Un bassin hydrographique est un réseau dynamique comprenant le territoire délimité par l'aire de drainage, ses composantes aquatiques

(cours d'eau, drains agricoles, lacs et étangs, zones riveraines et terres humides) ainsi que sa vie animale et végétale. Les pratiques agricoles interagissent souvent avec les composantes aquatiques d'un bassin hydrographique et exercent toujours un certain effet sur elles. Ces effets, qui peuvent être positifs ou négatifs, comprennent la modification de l'habitat faunique, de la nature physique des cours d'eau et de la qualité de l'eau. Ces changements, à leur tour, se répercutent sur la structure et la stabilité des communautés biologiques, réduisant souvent la biodiversité. Par contre, le développement de l'irrigation dans des régions sèches introduit parfois un habitat aquatique là où, autrement, il y en avait très peu. De nombreux projets de conservation ont été entrepris au Canada pour restaurer et améliorer l'habitat riverain et aquatique, y compris des travaux sur les terres humides et les drains agricoles. Les mesures d'amélioration non seulement profitent à la faune, mais, bien souvent, améliorent la qualité de l'eau utilisée à la ferme et rehaussent l'attrait exercé par les paysages ruraux.

## La préservation de la qualité de l'eau

Tous les résidents ruraux partagent la responsabilité de préserver la qualité de l'eau. Les agriculteurs peuvent jouer leur part en contrôlant le ruissellement et l'érosion, en améliorant la gestion des déchets et des intrants agricoles et en aménageant des zones tampons et des brise-vent. Les méthodes à appliquer sont souvent les mêmes que celles qui se sont avérées fructueuses pour préserver le sol. L'industrie agricole fonctionne de plus en plus dans le respect de l'environnement en collaborant avec l'État et d'autres organismes à l'établissement de codes et de lignes directrices qui définissent les pratiques agricoles acceptables, qui encouragent l'adoption de plans environnementaux pour les fermes et, dans certains cas, qui offrent des services de consultation entre pairs pour régler des plaintes pour nuisance et pollution. Des collectivités entières s'attaquent aux problèmes de contamination de l'eau en travaillant au niveau du bassin hydrographique. La responsabilité des gouvernements dans ce dossier comprend l'éducation et la formation, la mise en oeuvre de politiques et de programmes portant plus particulièrement sur les régions où se pratiquent des cultures ou un élevage intensifs, ainsi que la réglementation.

## Le maintien d'un approvisionnement fiable en eau

La sécheresse menace sérieusement l'approvisionnement en eau dans les Prairies et en Ontario. Devant l'éventualité de changements climatiques et l'augmentation prévisible de la population, de l'urbanisation et de la consommation, les conséquences d'une sécheresse ne peuvent que s'aggraver. L'approvisionnement en eau est assuré à longueur d'année par des bassins ou des réservoirs naturels ou artificiels, surtout dans les régions les plus sèches du pays. Pour garantir une utilisation durable de l'eau souterraine, il faut que la vitesse à laquelle on la puise ne dépasse pas sa réalimentation. Depuis toujours, la gestion de l'eau au Canada a porté sur l'approvisionnement. Mais à mesure que la concurrence pour cette ressource s'avivera, il faudra des outils de gestion de la demande pour en venir à utiliser l'eau plus efficacement. Cette approche nécessite : une compréhension de ce qu'il en coûte vraiment pour fournir de l'eau et éliminer les effluents; l'utilisation de technologies, de méthodes et de procédés différents des approches traditionnelles, qui favorisent un usage plus efficace de l'eau; l'éducation des consommateurs de cette ressource.

## La gestion des surplus d'eau

Le drainage artificiel a permis à de nombreuses régions du Canada de pratiquer une agriculture rentable, y compris des sols organiques extrêmement productifs. Un bon drainage améliore la croissance des plantes et leurs rendements, aide à réduire la salinité des sols, offre à l'agriculteur un choix élargi de cultures et prolonge la saison de croissance. Les systèmes de drainage superficiel (réseaux de fossés) entraînent la perte d'une partie de la terre arable et peuvent aggraver le risque d'érosion du sol et contribuer ainsi à la détérioration de la qualité de l'eau. Les réseaux souterrains (par canalisations) contribuent à la pollution de l'eau par le lessivage des nitrates et des pesticides jusque dans les cours d'eau. Tout cela peut modifier l'environnement en asséchant les terres humides, en faisant disparaître les zones riveraines, en augmentant le ruissellement et en modifiant l'hydrologie d'une région. Une bonne conception et un entretien approprié peuvent atténuer une partie de ces effets, mais il est souvent difficile de remplacer des zones riveraines et des terres humides disparues. Les réseaux de drainage agricole sont incapables d'absorber de grandes quantités d'eau pluviale venant de terrains établis. Des systèmes régionaux bien conçus pourraient s'avérer

nécessaires pour protéger les zones agricoles basses. Même là, il n'est pas toujours possible de prévenir les dégâts provoqués par de fortes inondations.

## L'eau et les limites pour la croissance rurale

La concurrence pour l'eau entre utilisateurs s'avivera, prévoit-on, à mesure que la pénurie se fera sentir, ce qui provoquera des conflits dans certains cas. Les principaux concurrents de l'agriculture pour cette ressource sont les centrales thermiques, les industries de la fabrication et les municipalités. L'habitat faunique et les pêches sont d'autres usages importants qui méritent d'être protégés. La sécheresse contrarie souvent la production agricole dans la partie semi-aride des Prairies et, parfois, dans d'autres régions. Or, les sécheresses risquent de devenir plus fréquentes et plus graves avec le réchauffement de la planète. La disponibilité de l'eau pour l'expansion à la fois des cultures irriguées et des élevages à grande échelle, surtout dans l'Ouest canadien, pourrait aussi être limitée. L'eau souterraine, lorsqu'il y en a, n'a pas toujours la qualité voulue pour ces types d'agriculture. L'expansion des élevages intensifs pourrait être freinée par les préoccupations que soulève l'incidence du fumier sur la qualité de l'eau. La responsabilité environnementale est une question dont se soucient de plus en plus les agriculteurs. Les politiques économiques et environnementales visant à protéger la qualité de l'eau pourraient ralentir la croissance de l'agriculture. À l'heure actuelle, les technologies nécessaires à l'amélioration de la performance environnementale ne sont pas toutes disponibles aux agriculteurs ni abordables pour eux.

# 1. Introduction

*D.R. Coote et L.J. Gregorich*

Tous les organismes vivants ont besoin d'eau : les plantes l'utilisent pour la photosynthèse, les êtres humains et les autres animaux la boivent alors que les plantes et les animaux aquatiques y vivent. L'eau tient également un rôle d'importance dans de nombreux processus naturels et humains et représente un élément déterminant d'innombrables réactions physiques et chimiques. Elle contribue aussi à de nombreuses activités économiques. Cependant, l'eau douce est si abondante et si courante au Canada, que nous ne nous y arrêtons que rarement, c'est-à-dire seulement lorsque notre alimentation en eau devient problématique ou lorsqu'elle devient moins propre à l'usage.

Il n'existe qu'une quantité limitée d'eau sur la planète. En fait, ni la nature ni la quantité de l'eau n'ont changé depuis des millions d'années. L'eau est soumise à un cycle perpétuel par lequel elle s'évapore de la surface du globe vers l'atmosphère d'où elle retombe sous forme de précipitations. L'eau douce compte pour moins de 3 % des ressources en eau totale de la terre. Comme elle est si limitée et qu'elle joue un rôle d'une telle importance dans la santé, les économies et la stabilité environnementale du monde, nous devons la protéger et en faire un usage judicieux.

## L'agriculture, tributaire de l'eau

Si l'agriculture n'est pas le plus grand utilisateur d'eau au Canada, elle est le plus gros consommateur. Cela signifie que ce domaine prélève une bonne quantité d'eau du paysage qu'elle fixe dans les produits agricoles ou qu'elle évapore dans l'atmosphère plutôt que de la renvoyer vers les cours d'eau ou les eaux souterraines.

De nombreuses activités agricoles dépendent d'un approvisionnement sûr en eau de qualité :

- l'arrosage des cultures
- l'abreuvement des bêtes
- le nettoyage des bâtiments agricoles
- l'adduction d'eau pour la consommation domestique.

Sans un approvisionnement suffisant en eau de qualité appropriée, les économies et les écosystèmes des régions rurales péricliteront et par la suite disparaîtront. Certaines parties du Canada comme l'Ontario, le Québec et les provinces de l'Atlantique reçoivent habituellement assez d'eau sous forme de pluie ou de neige pour combler les besoins en agriculture. Les parties plus arides comme certaines régions du Manitoba, de la Saskatchewan, de l'Alberta et de la Colombie Britannique doivent pratiquer *l'irrigation* de leurs cultures, du moins au cours des étés très secs.



*Irrigation des cultures*



*Abreuvement du bétail*

## Les effets de l'agriculture sur l'eau

Ces 50 dernières années, l'agriculture est devenue plus productive grâce aux progrès de la technologie. Les exploitations, aujourd'hui plus grosses et plus mécanisées, recourent aux *engrais* et aux *pesticides* pour maintenir leur production.

Bon nombre d'activités agricoles ont contribué, dans une certaine mesure, à l'altération de l'environnement, notamment à la détérioration de la qualité de l'eau. Certaines ont favorisé l'*érosion* et le *lessivage* par lesquels des polluants potentiels sont charriés des exploitations vers les eaux superficielles et souterraines. Les principaux polluants de l'eau provenant des terres agricoles sont les *sédiments*, les *éléments nutritifs* (principalement l'*azote* et le *phosphore*), les pesticides (dont les *insecticides*, les *herbicides* et les *fongicides*), les bactéries et les sels. La présence de ces substances peut rendre l'eau impropre à d'autres usages, tant pour l'être humain



*Usage domestique d'eau*

que pour la faune. L'eau douce est la première ressource affectée par l'agriculture. Cependant, l'effet se répercute aussi sur certaines eaux estuariennes, côtières et marines qui reçoivent les eaux douces altérées.

L'agriculture peut aussi modifier la présence physique de l'eau dans un paysage, par exemple par la construction de barrages et de réservoirs; la distribution d'eau d'irrigation, le drainage des sols imbibés d'eau, dont les *terres humides*, et la *sédimentation* dans les cours d'eau et les lacs. Ces changements non seulement modifient l'aspect esthétique du terroir, mais altèrent aussi l'habitat de la faune et entrent en conflit avec d'autres usages de l'eau.

## L'agriculture durable

L'*agriculture durable* est un mode de conduite qui peut être pratiqué pour les générations à venir. Cette approche à long terme de l'agriculture combine une production efficace à la gestion judicieuse des ressources de la planète. On espère qu'avec le temps, l'agriculture durable

- satisfera aux besoins en aliments et en fibres de l'être humain
- protégera la base de ressources naturelles et empêchera la dégradation de la qualité de l'eau, du sol et de l'air, ainsi que la biodiversité
- autorisera un usage efficace des *ressources non renouvelables*
- fera appel aux cycles biologiques et aux mécanismes de contrôle naturels
- assurera la survie économique de l'agriculture et le bien-être des agriculteurs et de leurs familles.

Le concept de l'agriculture durable repose sur la prémisse selon laquelle l'agriculture, bien qu'un grand utilisateur d'eau, en est un parmi tant d'autres et qu'à ce titre, elle doit partager les ressources hydrauliques du Canada. Ce concept reconnaît aussi que les pratiques agricoles doivent être conduites de façon à ne contribuer ni à la pollution de l'eau ni aux risques pour la santé des écosystèmes aquatiques.

## La santé des eaux rurales du Canada

Deux grandes questions se posent face à la santé des eaux rurales du Canada : *la qualité de l'eau* et la *quantité d'eau*. De récents sondages de l'opinion publique ont montré que la première de ces questions est au coeur du dossier environnemental le plus urgent au Canada actuellement. Pour ce qui est de la qualité de l'eau, il faut se poser, entre autres, les questions suivantes :

- Quels en sont les meilleurs indicateurs?
- Quelles seraient les meilleures mesures de ces indicateurs?
- Existe-t-il des préoccupations particulières au Canada?
- Comment réparer la dégradation de la qualité attribuable à l'agriculture?

La deuxième question, la quantité d'eau, est liée à la fiabilité de l'alimentation. Elle porte à se poser les questions suivantes :

- Dispose-t-on de suffisamment d'eau pour tous?
- Dans la négative, qui reçoit de l'eau et qui n'en a pas?
- Comment pourrait-on gérer plus efficacement la masse d'eau (y compris l'excès et les inondations)?
- Quelles seront les répercussions du réchauffement de la planète sur les approvisionnements en eau?

## Les objectifs du présent rapport

Les concentrations grandissantes de populations humaine et animale, la progression de la demande d'aliments dans le monde et les utilisations conflictuelles des ressources en eau sont parmi les

### L'importance de l'agriculture au Canada

Les terres agricoles productives ont attiré de nombreux colons dans notre pays. Durant les premières années de l'histoire du Canada, l'agriculture employait plus de 80 % de la population. Aujourd'hui, seulement 3 % des Canadiens sont directement engagés dans l'exploitation agricole, mais le secteur agroalimentaire emploie environ 15 % de la population.

Les exploitations agricoles ont engendré des ventes de plus de 28 milliards de dollars en 1998. Grâce à notre agriculture extensive et efficace, les aliments sont abondants et leur coût représente environ 14 % du revenu disponible d'un Canadien moyen, ce qui en fait les meilleurs et les moins coûteux au monde. De plus, environ 43 % de notre production agricole est exportée, contribuant ainsi largement à la balance commerciale internationale positive du Canada.

*Source : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1999*

aspects qui méritent une considération attentive pour parvenir à un usage judicieux et raisonné de ces ressources. Agriculteurs, grand public et décideurs au gouvernement ou dans l'industrie, tous prennent de meilleures décisions au moment d'intervenir lorsqu'ils disposent d'une bonne information.

Ce rapport présente une synthèse de l'information disponible sur la relation entre l'agriculture et les eaux rurales et sert de repère qui permettra de mesurer les progrès à l'avenir. Il a pour objectif de définir l'eau rurale saine, de décrire les facteurs qui y contribuent et d'évaluer la santé des eaux rurales du Canada,

- en cernant et en décrivant les principaux enjeux et problèmes
- en évaluant leur état actuel
- en proposant des façons de l'améliorer
- en prédisant les tendances futures.

## La lecture et l'utilisation du rapport

Le rapport est divisé en quatre parties. Les chapitres 2, 3 et 4 présentent une information de fond sur le cycle de l'eau, sur les approvisionnements au Canada, sur les utilisations en agriculture et autres utilisations rurales de l'eau et sur les dossiers de la qualité de l'eau. Ces chapitres préparent le lecteur à mieux comprendre l'information technique qui suit.

Les chapitres 5, 6 et 7 exposent les connaissances disponibles actuellement sur la santé des eaux rurales du Canada, tant superficielles que souterraines, et ses répercussions sur les écosystèmes naturels. Les chapitres 8, 9 et 10 décrivent les réactions aux divers enjeux concernant la qualité et la quantité de l'eau, en décrivant les pratiques agricoles et les outils de réglementation, entre autres mesures. Le chapitre 11 indique comment le développement de l'agriculture pourrait être limité par des facteurs liés à l'eau et ce qu'il nous reste à faire à partir de maintenant. Puis, le rapport se termine par une conclusion.

Le Canada ne dispose actuellement d'aucun programme qui lui permette de contrôler systématiquement la santé des eaux rurales sur l'ensemble de son territoire. Il est donc nécessaire d'évaluer cette situation en recourant aux informations recueillies de diverses sources, en l'occurrence les ministères fédéraux et provinciaux de l'agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement; les universités; les groupements agricoles et autres. Nous avons tenté de présenter des résultats qui sont représentatifs et des interprétations raisonnées et équilibrées. Les opinions sur la qualité et la quantité de l'eau sont pratiquement aussi nombreuses et diverses que les utilisateurs eux-mêmes; aussi, encourageons-nous le lecteur à utiliser ce rapport comme point de départ d'une réflexion et d'une recherche plus poussées, sachant qu'il faut plus d'études pour contrôler pleinement la situation et comprendre les dossiers.

Tout au long du rapport, l'expression *eau rurale* est utilisée la plupart du temps comme synonyme d'eau douce employée et altérée par l'agriculture primaire. Occasionnellement, des références sont faites aux eaux côtières, mais une discussion approfondie des effets de l'agriculture sur les eaux endiguées, estuariennes et marines dépasse la portée de ce rapport. Le rapport ne couvre pas non plus la qualité et la quantité de l'eau associée à l'industrie de la transformation alimentaire. Bien que bon nombre de facteurs puissent altérer la qualité et la quantité des eaux rurales, le rapport est limité aux aspects évoqués par les titres des chapitres.

Chaque chapitre est indépendant (chacun peut être cité comme un document distinct dont le titre exact paraît à la page vi), bien que le lecteur ait plutôt intérêt à lire intégralement le rapport. S'il lui est impossible de le faire, au début de chaque chapitre, nous en soulignons les points saillants.

Notre objectif est que le rapport soit compris par des gens qui ne sont pas des scientifiques. Cependant, nous n'avons pas évité complètement les termes et les concepts techniques. Ces mots sont indiqués en italique la première fois qu'ils paraissent et sont définis soit dans le corps du texte soit dans le glossaire qui paraît à la fin du rapport, accompagné d'autres définitions utiles.

# 2. Les ressources en eau du Canada rural

F.R.J. Martin, A. Bootsma, D.R. Coote, B.G. Fairley, L.J. Gregorich, J. Lebedin, P.H. Milburn, B.J. Stewart, et T.W. Van der Gulik

## Faits saillants

- Le cycle de l'eau est ininterrompu : l'eau part de l'atmosphère, tombe à la surface de la terre et retourne dans l'atmosphère. Elle est présente dans le sol, dans les cours d'eau et dans les nappes souterraines, où la plupart des utilisateurs en tirent profit sous forme d'eau douce.

- Le climat au Canada est très variable : aux forêts pluviales de la côte ouest succèdent les conditions semi-arides des parties les plus sèches des Prairies et de la Colombie-Britannique. L'agriculture est florissante dans les zones humides. Dans les régions très arides, il faut irriguer pour préserver la productivité de l'agriculture et, à l'inverse, il faut améliorer l'égouttement des sols dans les régions les plus humides pour être capable de cultiver la terre.

- Les précipitations sont la principale source d'approvisionnement en eau pour la croissance des cultures; ce sont toutefois les eaux de surface qui alimentent en grande partie l'agriculture et l'économie rurale dans toutes les régions sauf l'Île-du-Prince-Édouard, qui est entièrement tributaire de ses nappes souterraines. L'Alberta et les provinces centrales du pays puisent moins dans les nappes souterraines, mais ce sont les provinces centrales qui utilisent globalement le plus d'eau au Canada. L'eau des aquifères dans les Prairies est souvent de mauvaise qualité; elle n'est pas potable et se prête mal à l'irrigation.

- Les eaux de surface sont souvent dérivées d'un bassin versant à un autre. Dans le cas des plans d'eau qui chevauchent des frontières provinciales et internationales, il faut que les débits respectent les modalités des ententes conclues par les gouvernements.

## Introduction

Comme l'eau est essentielle à la vie, la disponibilité de cette ressource a un effet déterminant sur les genres d'écosystèmes qui existent partout dans le monde. L'agriculture et le milieu rural font partie des écosystèmes où ils sont implantés, et l'eau constitue l'un des liens les plus importants entre tous les organismes vivants d'un écosystème.

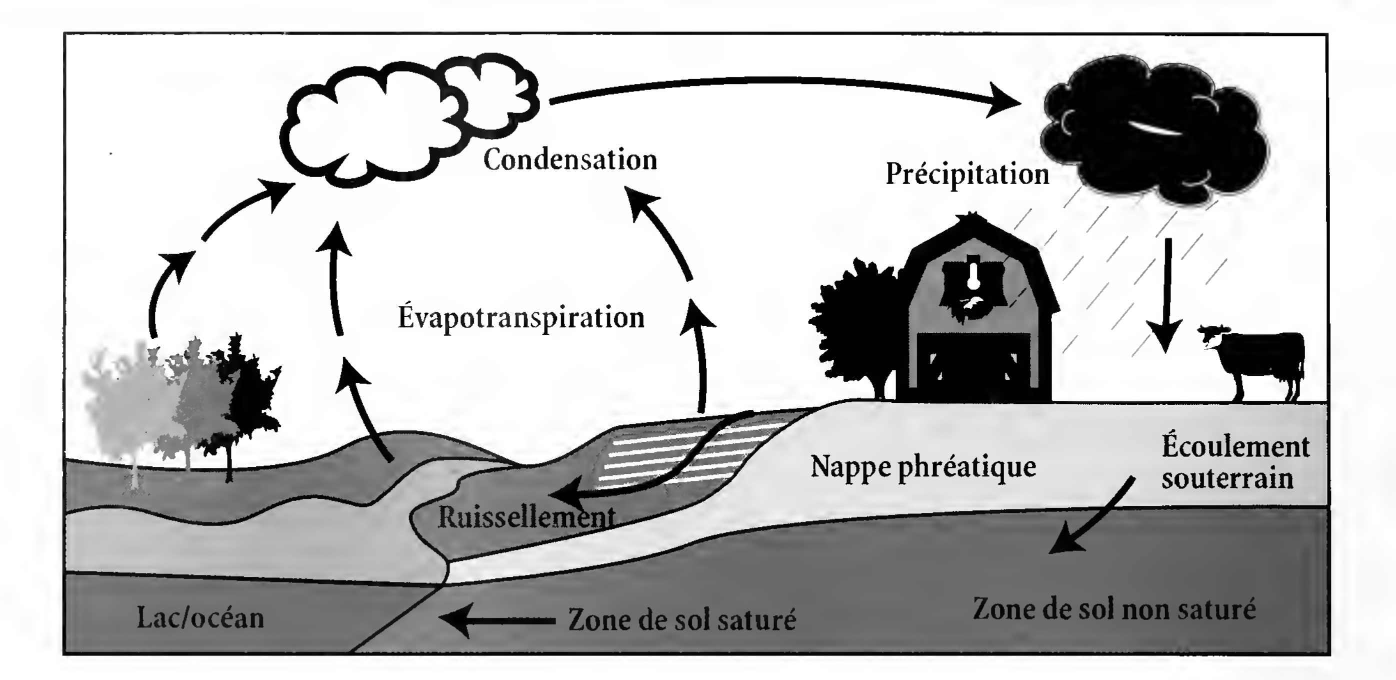
Pour bien comprendre l'importance des sources d' approvisionnement en eau de l'agriculture et des autres utilisateurs en milieu rural, il faut les situer dans le contexte du *cycle hydrologique*. C'est grâce à ce cycle que la terre reconstitue constamment ses réserves en eau.

## Cycle hydrologique

Le cycle hydrologique, aussi appelé *cycle de l'eau*, est en réalité un système géant de distillation qui met à contribution la terre, les océans et l'atmosphère (fig. 2-1). C'est le soleil qui lui fournit l'énergie dont il a besoin pour fonctionner. La quantité totale d'eau du système reste à peu près constante, mais l'eau est en mouvement et passe constamment d'un état à l'autre (p. ex. liquide, gaz ou vapeur, solide).

Le cycle de l'eau débute lorsque celle-ci s'évapore de la terre et des océans dans l'atmosphère. L'air chaud chargé d'humidité monte et se refroidit, et se condense autour des particules de poussière pour former des nuages qui se déplacent selon les vents dominants. Lorsque les nuages deviennent saturés et que l'eau est trop lourde pour rester suspendue dans l'air, elle tombe sous forme de *précipitations* (c.-à-d. pluie, neige, grêle ou giboulée).

Figure 2-1
Cycle hydrologique




L'eau suit ensuite l'une des voies suivantes :

- elle s'évapore de nouveau dans l'atmosphère à partir de la surface de la terre
- elle est absorbée par les plantes
- elle est stockée sous forme solide dans la neige qui reste au sol ou dans les glaciers
- elle est stockée sous forme liquide dans les marais et les lacs
- elle s'écoule à la surface de la terre dans les cours d'eau
- elle s'infiltre dans le sol.

Une grande partie de l'eau interceptée ou absorbée par les plantes et une partie de l'eau stockée s'évaporent de nouveau dans l'atmosphère.

L'eau qui pénètre dans le sol peut

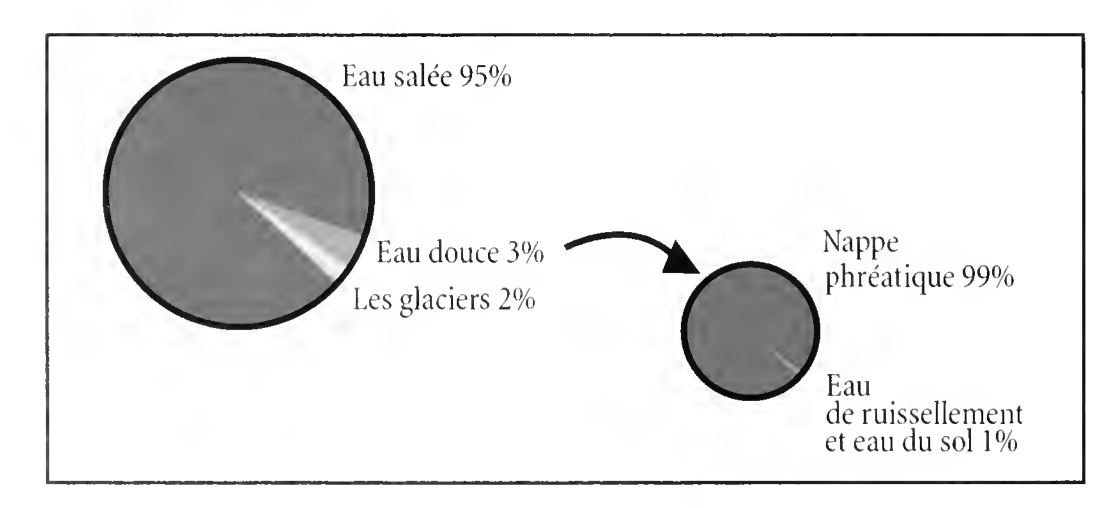
- être emprisonnée dans le sol insaturé
- percoler dans le sol jusqu'à ce qu'elle atteigne la *nappe phréatique*, où elle devient de l'*eau souterraine*.

L'eau stockée dans le sol retourne éventuellement dans l'atmosphère par évaporation, ou est absorbée par les plantes et retourne dans l'atmosphère par la *transpiration* de leurs feuilles. Ces deux processus forment ce que l'on appelle l'*évapotranspiration*.

L'eau souterraine peut se trouver juste sous la surface du sol ou migrer dans le sous-sol profond, c'est-à-dire dans les aquifères. Éventuellement, une grande partie de l'eau souterraine en profondeur s'approche de la surface du sol dans les vallées et s'écoule le long de la pente dans les zones d'alimentation des aquifères. Là, elle peut être absorbée par les plantes ou s'évaporer dans l'atmosphère par transpiration. En outre, elle peut aboutir dans les ruisseaux, les lacs ou les cours d'eau, d'où elle s'évapore ou se déverse dans des plans d'eau plus importants. Une partie de l'eau se rend à l'océan, où l'évaporation la ramène dans le cycle de l'eau.

Les ressources en eau des régions rurales du pays proviennent des précipitations (pluie et neige fondue) et, dans certains cas, de la fonte des glaciers de montagne. L'eau utilisée en milieu rural provient généralement des sources d'approvisionnement de surface telles que les cours d'eau et les lacs, ainsi que des nappes souterraines d'où elle est pompée par des puits.

Figure 2-2
Les ressources en eau de la terre




## Ressources en eau du Canada

Les océans contiennent plus de 95 % de l'eau de la planète, mais cette eau est trop salée pour être utilisée à son état naturel, sauf en tant qu'habitat pour les organismes marins et comme voie pour le transport maritime. Le 5 % et moins qui subsiste est de l'eau douce. Un tiers de cette eau est stocké dans la calotte glaciaire et dans les glaciers. Une grande partie du reste est de l'eau souterraine et seule une

très petite proportion (environ 0,2 %) se trouve dans le sol ou en surface, notamment dans les lacs et les rivières (fig. 2-2).

Le Canada compte probablement plus de lacs que tout autre pays. Il partage avec les États-Unis les Grands Lacs, qui renferment environ 18 % de l'eau douce de surface du monde. En moyenne, à peu près 9 % des approvisionnements renouvelables d'eau douce du monde s'écoulent dans les rivières canadiennes. Étant donné que le Canada détient 7 % de la superficie mondiale, ses sources d'eau douce ne sont pas disproportionnées. Toutefois, avec moins de 1 % de la population mondiale, le Canada est richement pourvu en cette ressource, bien que celle-ci ne soit pas répartie également partout au pays.

En raison des différentes zones climatiques du Canada, certaines parties de la Colombie Britannique et des Prairies sont tellement arides qu'elles se comparent au nord du Mexique et à une grande partie de l'Australie. Par ailleurs, d'autres régions du pays, comme le sud de l'Ontario, ne souffrent de pénuries d'eau que pendant les sécheresses prolongées. Dans ces régions, le climat ressemble davantage à celui du centre-ouest des États-Unis et du centre de l'Europe. Par ailleurs, les côtes est et ouest du Canada reçoivent d'abondantes précipitations, conditions qui se comparent à celles qui règnent en Scandinavie. Par conséquent, la gestion de l'eau au Canada doit s'adapter à un large éventail de conditions. En outre, l'on pourrait, à cet égard, tirer parti de l'expérience vécue dans d'autres parties du monde.

## Gains et pertes d'eau

L'étude des précipitations totales (pluie et neige) du pays (fig. 2-3) fait clairement ressortir l'humidité des régions côtières et l'aridité des Prairies. Pour bien interpréter les précipitations totales, il convient de les mettre en regard de l'*évapotranspiration potentielle*, qui dénote la capacité de l'eau de s'évaporer des sols et de transpirer des végétaux (fig. 2-4).

La différence entre les précipitations totales pendant la période de croissance (ainsi que la quantité d'eau susceptible d'être conservée dans la zone racinaire du sol) et l'évapotranspiration potentielle s'appelle le *déficit en eau du sol*. Cette valeur nous dit dans quelle mesure le sol manque réellement d'eau, comparativement à la quantité d'eau que les plantes pourraient utiliser si elle était disponible. Une grande partie de l'ouest du Canada où l'on pratique l'agriculture ainsi que le sud de l'Ontario souffrent de déficits en eau du sol pendant une année

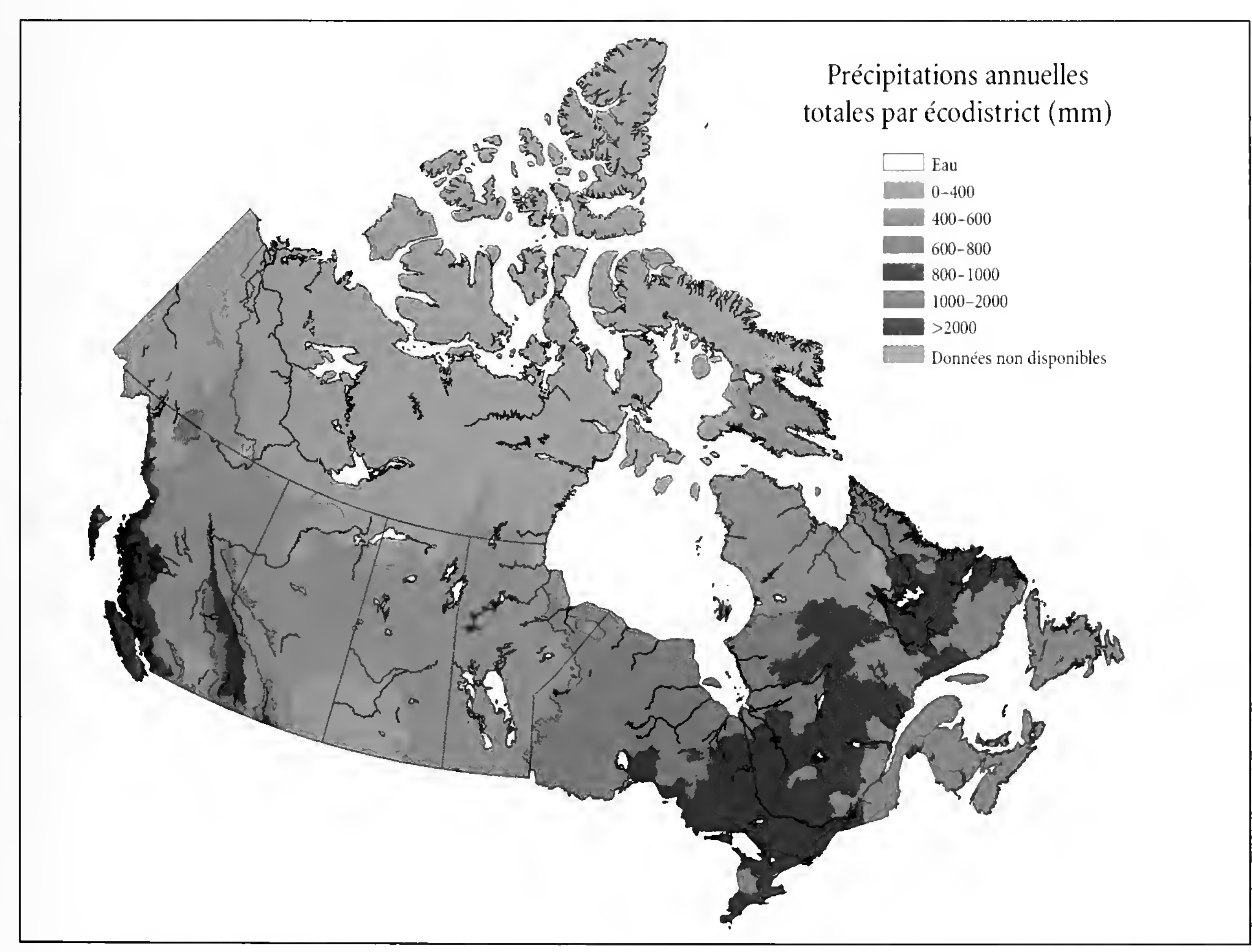
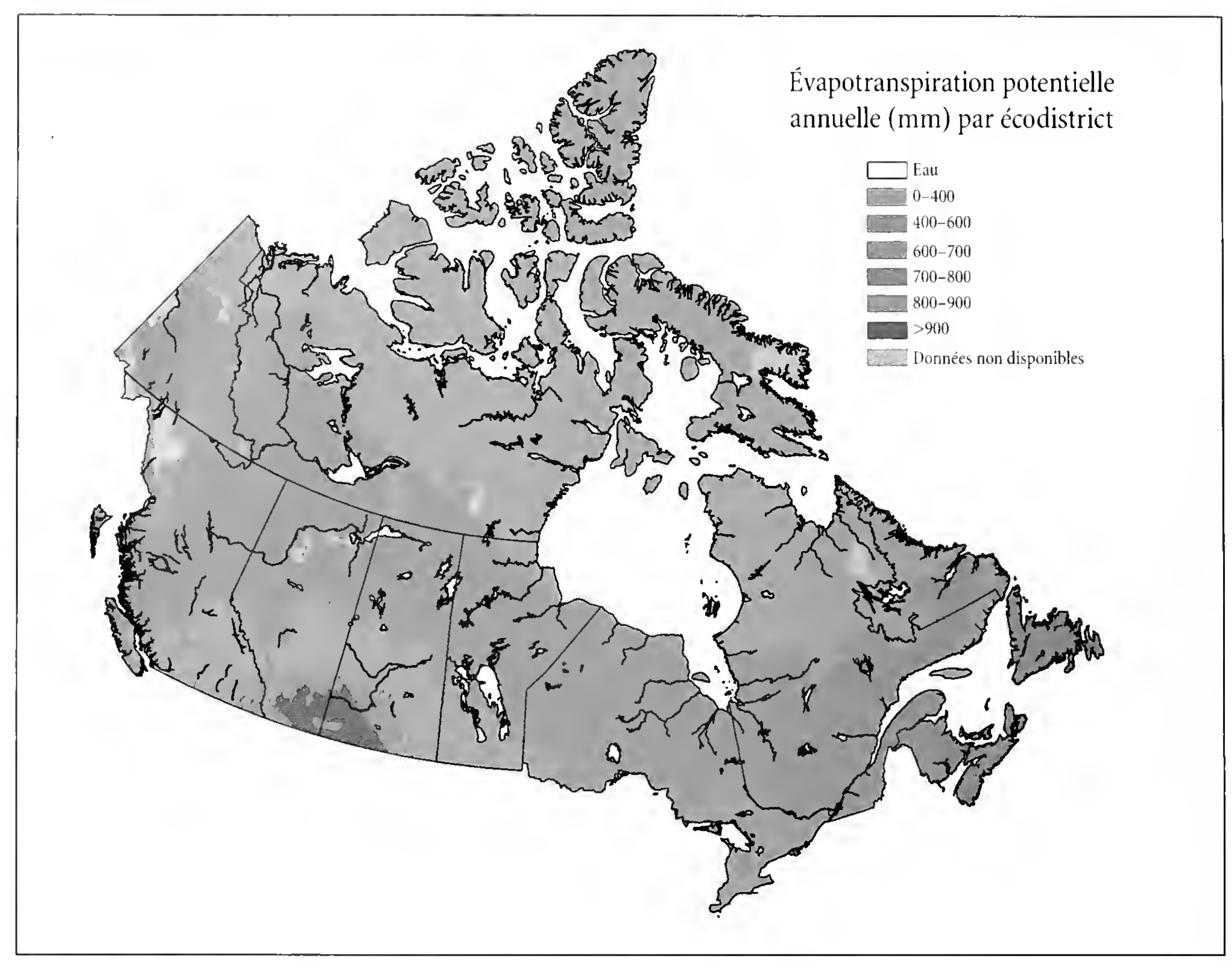



**Figure 2-3**
**Précipitations totales**

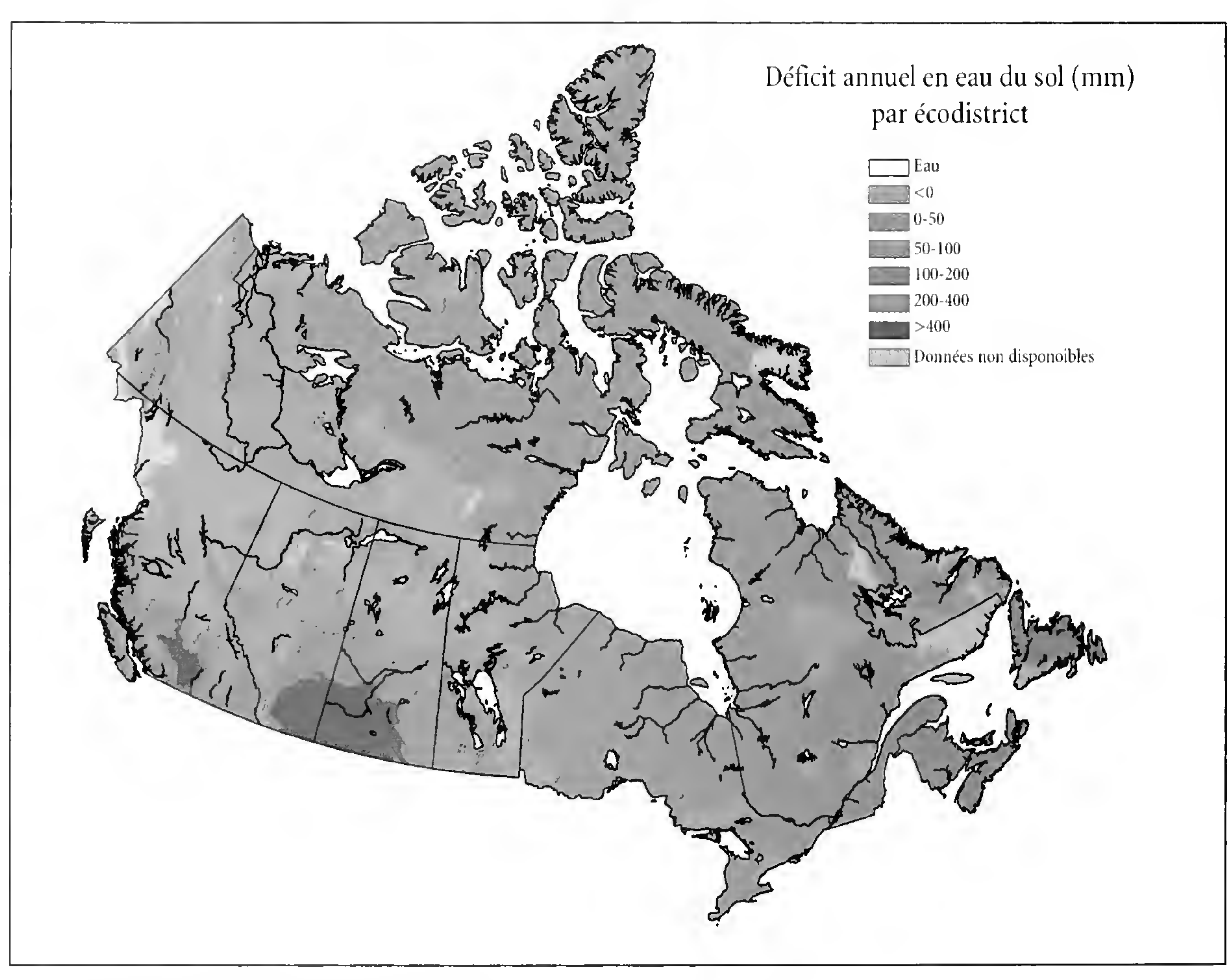
Source : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1998

**Figure 2-4**
**Évapotranspiration potentielle**




Source : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1998

**Figure 2-5**
**Déficit annuel en eau du sol**




Source : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 1998

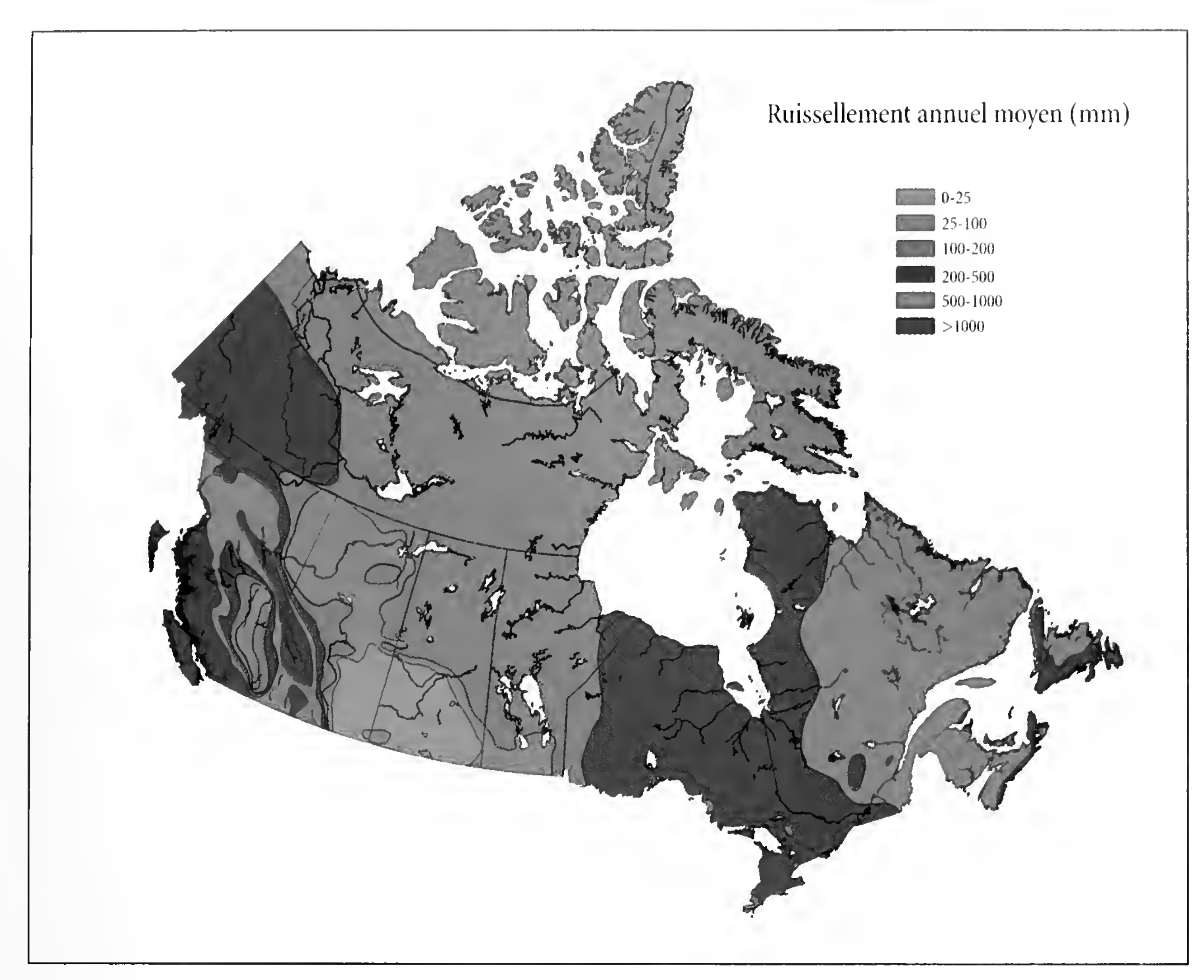



Figure 2-6
**Ruissellement annuel**

Source : Pêcheries et Environnement Canada, 1978

moyenne (fig. 2-5). Par contre, dans une grande partie du Québec et des provinces de l'Atlantique, les réserves en eau du sol suffisent aux besoins de la végétation pendant une année moyenne.

Les précipitations qui tombent en dehors de la période végétative viennent tout d'abord reconstituer les réserves en eau du sol; le trop-plein s'écoule dans la nappe souterraine ou à la surface du sol sous forme d'*écoulement superficiel.* Il arrive aussi pendant la période de croissance que l'eau apportée par d'abondantes précipitations s'écoule en surface. L'écoulement superficiel alimente les cours d'eau et entraîne des crues; c'est l'émergence qui habituellement régularise le niveau de base des cours d'eau. L'écoulement total des rivières est alimenté par l'écoulement de surface et l'eau émergeant des nappes souterraines (*débit de base*); c'est ce que l'on appelle simplement l'*écoulement.* L'écoulement annuel moyen suit une courbe analogue à celle des précipitations totales, mais ne représente que 10 à 50 % des précipitations dans les zones agricoles du centre et de l'ouest du Canada (fig. 2-6).

La disponibilité en eau au Canada n'est pas répartie également partout au pays, ni entre ceux qui désirent l'utiliser. C'est aux administrations provinciales qu'il appartient en général de décider qui peut avoir accès à l'eau et qui peut l'utiliser (*voir* l'encadré, p.).

## Eau de surface

**Colombie-Britannique**

C'est en Colombie-Britannique qu'on retrouve les taux de précipitation les plus élevés et les moins élevés au Canada. Dans le sud, partie la plus populeuse de la province, les rivières ont leur source dans les montagnes et s'écoulent vers le sud. La plus grosse de ces rivières, le fleuve Fraser, aboutit à l'océan Pacifique en passant par Vancouver. Les autres rivières d'importance sont le fleuve Columbia, qui s'écoule aux États-Unis, et la rivière de la Paix, qui s'écoule dans l'Arctique.

Les précipitations abondantes arrosent l'écozone du Pacifique maritime, qui englobe les forêts pluviales côtières. Toutefois, la région de l'intérieur est aride, les précipitations annuelles y sont inférieures à 400 millimètres et l'eau se fait rare pour l'irrigation et l'usage domestique. Une grande partie des pluies tombent l'hiver et il pleut peu l'été. On emmagasine l'eau souvent dans des réservoirs que l'on aménage



*Lac en Colombie-Britannique*

## À qui appartient l'eau?

Il n'est pas facile de répondre à la question : à qui appartient l'eau au Canada? À l'époque de la colonisation par les Européens, on croyait que l'eau n'appartenait à personne. Il était peut-être reconnu, même à cette époque-là, que les Autochtones bénéficiaient d'un certain droit d'utilisation de l'eau, mais les doctrines dominantes de droits anglais et français prônaient catégoriquement que l'eau courante ne pouvait appartenir à personne. L'eau appartenait à quelqu'un seulement lorsque c'était de l'eau captive et encore là ce droit ne s'appliquait qu'à la quantité réelle détenue. Le droit coutumier anglais reconnaissait que seuls les propriétaires riverains (la classe limitée de gens dont les terres donnaient sur un cours d'eau) avaient le droit d'utiliser l'eau à des fins ménagères et possédaient un droit restreint d'utiliser l'eau à d'autres fins à la condition que ces emplois ne modifiaient pas perceptiblement la qualité ou la quantité de l'écoulement naturel.

Cette présomption juridique fondamentale a commencé à changer dans l'ouest du Canada, car les colonisateurs ont dû faire face à la réalité d'avoir à pratiquer l'agriculture dans une région aride. En 1894–1895, le gouvernement fédéral a cru nécessaire de garantir les droits relatifs à l'eau aux colons en vue de favoriser la culture irriguée. En 1895, il adoptait la *Loi sur l'irrigation dans le Nord-Ouest (North-West Irrigation Act)* et déclarait que « la propriété et le droit d'utilisation » de toutes les ressources en eau revenaient à l'État. Après avoir assis solidement son emprise sur l'eau, le gouvernement fédéral autorisait d'autres, par voie de permis, à dériver et à utiliser l'eau en quantité et aux endroits que le droit coutumier des droits riverains interdisait.

En 1930, dans le cadre de la cession générale des compétences en matière de ressources naturelles, les provinces de l'Alberta, de la Saskatchewan et du Manitoba se sont retrouvées propriétaires des ressources en eau situées sur leur territoire. La Colombie-Britannique s'était placée dans une situation analogue en 1925 en déclarant qu'elle aussi était propriétaire de toute l'eau se trouvant sur son territoire et avait le droit de l'utiliser. Dans les Territoires du Nord-Ouest, au Yukon et au Nunavut, la propriété et le droit d'utilisation et de dérivation de l'eau appartiennent à l'État.

Ainsi, aujourd'hui, il y a une distinction fondamentale entre, d'une part, l'Ouest et le Nord du Canada, où l'État a déclaré qu'il était propriétaire de l'eau, et, d'autre part, une grande partie des provinces centrales et de l'est du Canada, dont le Québec, où, comme le veulent les mêmes principes européens appliqués lors de la colonisation, l'eau n'appartient à personne. En Nouvelle-Écosse, toutefois, en vertu d'une disposition qui ressemble en gros à celle ayant cours dans l'Ouest, tous les cours d'eau appartiennent à la province ainsi que le droit d'utiliser et de dériver l'eau qu'ils contiennent.

Cette distinction entre les régions à propos de la propriété de l'eau fait ressortir que cette question n'est pas d'une importance fondamentale. Peu importe à qui appartient l'eau, les gouvernements provinciaux peuvent réglementer tous les aspects importants liés à la quantité et à la qualité de cette ressource. Ainsi, dans l'Ouest et le Nord du pays, l'État accorde le droit de dériver et de consommer l'eau en octroyant des permis à ceux qui en font la demande. Dans les provinces centrales et dans l'Est du pays, où les pénuries d'eau sont moins fréquentes, les droits de dériver et d'utiliser l'eau appartiennent encore aux propriétaires riverains. Il n'y a toutefois aucun doute que ce sont les gouvernements provinciaux de ces régions qui ont la mainmise sur les ressources en eau de leur territoire et qui peuvent appliquer des systèmes de permis analogues à ceux qui ont cours dans l'Ouest et le Nord du pays. Par exemple, l'Ontario a ajouté à ses droits riverains de base un système de permis qui permet au gouvernement provincial de suivre de près et de réglementer toutes les principales utilisations consommatrices d'eau. Pour sa part, la Nouvelle-Écosse peut autoriser l'utilisation d'eau selon un régime qui ressemble quelque peu aux permis octroyés dans l'Ouest et le Nord, système qui garde certains vestiges des droits riverains. La capacité de réglementer toutes les ressources en eau de leur territoire a aussi permis aux provinces d'adopter des dispositions pour lutter contre la pollution de l'eau, aspect lié à la qualité de cette ressource.

Ainsi, la question de la propriété de l'eau n'est plus fondamentale. Aujourd'hui, il s'agit surtout de savoir dans quelle mesure les gouvernements fédéral et provinciaux se partagent les pouvoirs concernant cette ressource et l'emprise dont elle fait l'objet. Dit simplement, la plupart des aspects de la gestion de l'eau sont de ressort provincial. Pour sa part, le gouvernement fédéral est habilité à réglementer les aspects liés à l'eau qui touchent les pêcheries et la navigation, car la *Loi constitutionnelle* comporte des dispositions à ce sujet. On ne sait toutefois pas avec certitude de qui relève la gestion des plans d'eau interprovinciaux; la répartition des pouvoirs à cet égard est très imprécise. En pratique, les provinces peuvent réglementer au jour le jour les aspects quantitatifs et qualitatifs de ces eaux, mais le gouvernement fédéral peut intervenir dans cette gestion en tout temps par voie législative.

*D. R. Percy, Université de l'Alberta*

au moyen de petits barrages. La plupart de ces réservoirs détiennent un permis d'irrigation. Ils servent aussi pour les loisirs et comme habitat pour les poissons et la faune.

Les eaux de surface représentent 82 % de l'eau consommée par les municipalités et les régions rurales et utilisée à des fins ménagères en Colombie-Britannique. Les agriculteurs pompent 70 % de leur eau d'irrigation avec leurs propres systèmes, la puisant dans des réservoirs, dans les cours d'eau et dans la nappe souterraine. Les districts d'irrigation, qui se situent en général dans les régions arides de la province où les coûts en eau sont élevés, fournissent de l'eau à 20 % de la superficie irriguée. Les districts municipaux ou d'irrigation dans les régions de l'Okanagan et de Kootenay alimentent les exploitations agricoles en eau d'irrigation et d'utilisation ménagère grâce à des canalisations sous pression.

On se sert rarement des étangs et des *fosses-réservoirs* pour l'irrigation sauf si les ruisseaux, les eaux d'infiltration ou le ruissellement des précipitations parviennent à les remplir l'été. Il s'agit cependant d'une source importante d'eau pour les exploitations agricoles de la région de la rivière de la Paix et de l'île de Vancouver. On ne se sert habituellement de ces petits réservoirs que pour l'abreuvement des bestiaux, à des fins ménagères ou pour l'irrigation des jardins.

**Provinces des Prairies**

Les Prairies constituent la région la plus aride du Canada. Les régions agricoles ne reçoivent en moyenne que de 300 à 500 millimètres de précipitations par année, mais l'évaporation prélèverait entre 600 et 1 100 millimètres d'eau si celle-ci était disponible. Il se perd davantage d'eau par évaporation que par tout autre type d'utilisation dans cette région. Ces pertes ont une forte incidence sur les approvisionnements en eau de surface.

La plupart des grands réseaux fluviaux des Prairies ont leur source dans les Rocheuses. L'alimentation de ces réseaux est en général fiable et l'écoulement varie peu d'une année à l'autre. Ils sont alimentés par les eaux de fonte de la couverture de neige des montagnes, et l'écoulement se maintient pendant l'été et l'automne grâce à la fonte des glaciers. Cet approvisionnement en eau est complété par les quelques rivières à faible débit qui jalonnent les Prairies mais qui sont sujettes à des variations extrêmes d'écoulement (de zéro à dix fois la moyenne). Dans les Prairies, les ruisseaux n'existent souvent que pendant quelques jours ou quelques semaines pendant la fonte des neiges du printemps et parfois brièvement après des pluies diluviennes.



*Mare-réservoir*

En se retirant, les glaciers ont laissé des centaines de milliers de petits lacs et *marécages* qui émaillent les plaines et le paysage à relief onduleux de cette région. Certains bassins lacustres du sud de l'Alberta et de la Saskatchewan se drainent eux-mêmes et n'ont pas d'écoulement extérieur, même les années où il pleut beaucoup. En raison de l'absence d'écoulement, l'évaporation fait contrepoids à l'écoulement de surface, et ces plans d'eau grossissent les années de fortes précipitations et diminuent de taille ou disparaissent entièrement les années arides.

Les principales sources fiables d'eau de surface sont les gros plans d'eau naturels et aménagés. Les fosses-réservoirs constituent aussi une autre façon courante d'emmagasiner l'écoulement local. Elles sont conçues habituellement pour assurer un approvisionnement suffisant en eau pendant 2 ans, même en tenant compte des pertes dues à l'évaporation. Elles ne peuvent toutefois suffire à la tâche s'il y a plusieurs années successives de temps sec. Sur les 35 gros réservoirs qui se trouvent dans la région, 21 fournissent de l'eau pour l'irrigation et d'autres fins. En raison du relief faiblement accentué et des vallées à rivières peu profondes, les réservoirs présentent souvent un rapport surface-volume élevé et sont sujettes à d'importantes déperditions par évaporation.



*Drainage agricole en Ontario*

**Provinces centrales**
L'Ontario et le Québec sont en général bien alimentés en eau grâce aux 1000 millimètres, environ, de précipitations qu'ils reçoivent tous les ans. Même si les eaux de surface dans la plupart des zones populeuses de cette région s'écoulent vers l'est par la rivière Outaouais et le fleuve Saint Laurent jusqu'à l'océan Atlantique, près de 60 % de l'écoulement total vont vers le nord en direction de la baie d'Hudson. L'évapotranspiration potentielle relativement élevée dans les zones les plus chaudes du sud de l'Ontario laisse souvent dans les sols une quantité insuffisante d'eau pour la période végétative. Par contre, au Québec, l'évapotranspiration potentielle est légèrement plus faible et il pleut davantage; cette province ressemble donc aux provinces de l'Atlantique en ce qui a trait à la teneur en eau du sol et à l'écoulement de surface.

Contrairement aux Prairies, il y a peu de fosses-réservoirs dans cette région et celles-ci servent à la production d'énergie et à l'approvisionnement des municipalités plutôt qu'à l'irrigation. Il n'y a aucun district organisé d'irrigation et c'est presque exclusivement en vertu de permis privés qu'on pratique cette activité.

Historiquement, la gestion de l'eau dans cette région a surtout consisté à gérer le drainage (c'est-à-dire l'égouttement des excédents d'eau de surface). Les premiers colons ont dû mettre en place de vastes réseaux de drainage pour pouvoir pratiquer l'agriculture. Ces systèmes étaient particulièrement importants dans les sols argileux productifs du sud-ouest de l'Ontario et des vallées de l'Outaouais et du Saint-Laurent. Ils ont évolué en un réseau de drainage municipal qui dessert maintenant tout le territoire agricole de la région.

Les autorités régionales de gestion de l'eau s'inquiètent de l'approvisionnement en eau des importantes populations urbaines et rurales et du vaste secteur industriel. En Ontario, on puise l'eau destinée aux municipalités directement dans les Grands Lacs ainsi que dans les rivières qui parsèment la région. Les provinces centrales misent davantage sur les eaux de surface que toute autre région, cette source alimentant près de 94 % de l'ensemble des utilisations municipales, industrielles, rurales et agricoles. Si l'on tient compte de la production thermique d'énergie, ce chiffre grimpe à près de 98 %.

**Provinces de l'Atlantique**
C'est dans la région de l'Atlantique qu'on observe les niveaux d'écoulement les plus élevés au pays : près de 83 % des précipitations qui y tombent s'écoulent dans les rivières et les autres cours d'eau. Les facteurs à l'origine de cette situation sont notamment les suivants :

- des précipitations annuelles abondantes : en moyenne, une grande partie de cette région reçoit plus de 1000 millimètres de précipitations par an; seules quelques parties du Québec et les montagnes en Colombie-Britannique reçoivent une quantité égale ou supérieure de précipitations
- des faibles taux d'évaporation et de transpiration : dans une grande partie de la région, l'évapotranspiration éventuelle équivaut à moins de la moitié des précipitations;
- un grand nombre de pentes abruptes, qui accélèrent le ruissellement vers les cours d'eau.

Malgré l'écoulement abondant, seulement 50 % des gens tirent leur eau de sources de surface (presque 0 % à l'Île-du-Prince-Édouard), ce qui constitue une proportion plus faible de la population que dans toute autre région du pays. En raison du climat humide, il se fait peu d'irrigation dans les provinces de l'Atlantique. Les réservoirs servent presque exclusivement à la production d'énergie hydroélectrique et à l'approvisionnement en eau des municipalités. La plupart des 300 000 plans d'eau (ou presque) de la région (270 000 à Terre-Neuve et au Labrador) sont très petits; seulement 30 d'entre eux ont une surface de plus de 100 kilomètres carrés.

## Eau souterraine

### Colombie-Britannique

Le grand nombre des vallées qui façonnent le paysage de la Colombie-Britannique reposent sur des aquifères de sable et de gravier, qui sont des réservoirs efficaces d'eau souterraine. La roche calcaire de fond emmagasine aussi l'eau souterraine sur l'île de Vancouver et dans une partie du sud de l'intérieur. La nappe souterraine fournit environ 12 % de l'eau utilisée dans la province.

Seulement 40 % de l'eau consommée en milieu rural en Colombie-Britannique proviennent des puits, proportion qui est la moins élevée au pays, sauf dans les Territoires du Nord-Ouest. Seulement 2 % des terres irriguées de la province tirent leur eau de la nappe souterraine. Toutefois, il s'agit de la seule source d'irrigation dans certaines zones de la vallée du Fraser, le sud de la vallée de l'Okanagan et des parties des Kootenay.

Cette grande variation dans l'utilisation de l'eau souterraine témoigne des conditions extrêmes que connaissent les eaux de surface : des régions côtières et montagneuses où les précipitations, les plus élevées au Canada, occasionnent un ruissellement surabondant, aux régions du centre de l'intérieur, qui sont presque désertiques et où les précipitations et le ruissellement sont très faibles. Dans ces régions arides, la nappe souterraine se révèle indispensable.

### Provinces des Prairies

Les nappes souterraines sont très importantes dans les Prairies étant donné que l'eau de surface est souvent rare à l'extérieur des districts d'irrigation. Cette région est parsemée d'un grand nombre de dépôts glaciaires qui renferment de précieux aquifères. En outre, ces dépôts reposent sur de vastes formations de schiste, de grès et de calcaire dont un grand nombre contiennent de l'eau souterraine extractible. Malheureusement, l'eau se trouvant dans beaucoup de ces aquifères du substratum rocheux est de mauvaise qualité; sa concentration en sels est élevée (les sulfates de sodium lui donnent un goût désagréable), et elle renferme du fer et du manganèse. Une partie de cette eau est impropre à la consommation humaine ou à l'abreuvement des animaux.

Le Manitoba tire environ 20 % de son eau des aquifères, ce qui constitue la proportion la plus élevée de toutes les provinces à l'exception de l'Île-du-Prince-Édouard. Il bénéficie d'aquifères particulièrement importants dans la roche calcaire de fond, sur laquelle reposent la région d'Entrelacs et la vallée de la rivière Rouge, ainsi que dans les imposants dépôts glaciaires et deltaïques. Pour sa part, la Saskatchewan puise 9 % de ses besoins en eau de la nappe souterraine et l'Alberta, seulement 4 % en raison de sa proximité des eaux de surface de première qualité qui s'écoulent des montagnes.

Les puits fournissent de l'eau à environ 90 % des résidences rurales des Prairies. Une proportion analogue d'éleveurs, répartie assez également dans la région, donne de l'eau de puits à leurs bestiaux. Par ailleurs, du côté de l'irrigation, la proportion est très variable : au Manitoba, 48 % de l'eau d'irrigation proviennent de la nappe souterraine, mais cette proportion est inférieure à 1 % en Alberta. En Saskatchewan, on puise environ 1 % de l'eau d'irrigation dans la nappe souterraine. Ces chiffres témoignent de la disponibilité plus importante d'eau de surface en Alberta qui, dans les districts d'irrigation, est acheminée dans les réseaux de distribution. Une partie de cet écoulement est mise à la disposition des agriculteurs qui pratiquent l'irrigation en Saskatchewan. Au Manitoba, l'irrigation est surtout assurée par des systèmes privés puisant l'eau dans de vastes aquifères tels que celui du Delta de l'Assiniboine, qui est capable de résister à un pompage soutenu.



*Puits domestique*

### Provinces centrales

Une grande partie de l'est du bassin des Grands Lacs et du sud du Québec (à savoir la partie de la région située à l'est de Toronto qui ne fait pas partie du Bouclier canadien) repose sur des aquifères de roches calcaires de fond. Contrairement aux Prairies, la qualité des eaux souterraines à l'état naturel dans les provinces centrales est généralement bonne, la concentration en minéraux dissous étant faible.

La glaciation a laissé partout dans la région des aquifères de sable et de gravier qui assurent à de nombreuses municipalités, résidences rurales et exploitations agricoles de bonnes nappes d'eau souterraine. Ces aquifères sont particulièrement importants dans les zones densément peuplées du sud de l'Ontario situées à l'est et à l'ouest de Toronto et partout dans la vallée du Saint-Laurent au Québec. Seule exception : la plaine argileuse du sud-ouest de l'Ontario, où un grand nombre de puits ruraux ne sont approvisionnés que médiocrement par des eaux souterraines provenant de la formation schisteuse.

Même si la proportion d'eau utilisée dans les provinces centrales qui est tirée des nappes souterraines figure parmi les plus faibles au pays (à peu près 2,5 %), la quantité totale d'eau puisée est

imposante. Cette région du pays consomme plus de 40 % de toute l'eau souterraine utilisée au pays.

**Provinces de l'Atlantique**

L'Île-du-Prince-Édouard est la seule au Canada à être autant tributaire de l'eau souterraine : près de 100 % de l'eau consommée en milieu rural et presque 90 % de l'eau totale utilisée sont tirées des aquifères de formation de grès. Les dépôts de sable grossier et de gravier d'origine glaciaire produisent la plus grande partie de l'eau souterraine dans le reste de la région, même si l'on trouve beaucoup d'aquifères de grès dans l'est du Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse et à Terre-Neuve. La plupart des puits permettent de répondre aux besoins des habitations et des fermes.

La qualité de l'eau souterraine est relativement bonne dans les provinces de l'Atlantique, même si une grande partie de l'eau tirée des aquifères du substratum rocheux est *dure*. Dans certaines régions côtières, les aquifères sont vulnérables à des *infiltrations d'eau de mer*. Ce problème a forcé les villes de Shippegan (nord-ouest du Nouveau-Brunswick) et de Pictou (côte nord de la Nouvelle-Écosse) à abandonner des puits. En outre, il arrive que l'eau des puits dans les comtés de Hants et de Colchester en Nouvelle-Écosse renferme de l'arsenic.

## Eau détournée

En raison de la quantité annuelle très variable de l'écoulement dans les Prairies, il a fallu mettre sur pied des projets pour stocker les eaux de surface ou les faire dériver, ou les deux, et pour s'assurer d'approvisionnements surtout les années de faible écoulement. Certains de ces projets visent à réduire l'incidence des dégâts causés par les crues les années où l'écoulement est abondant.

Les projets de dérivation visent soit *l'intra-bassin* (c.-à-d. le même bassin hydrographique) ou *l'entre bassins* (l'eau se déverse dans un autre bassin hydrographique). Dans les Prairies, on détourne l'eau entre les sous-bassins du même gros bassin de drainage dans les trois principaux réseaux de drainage : Saskatchewan-Nelson, rivière de la Paix-Athabaska et Missouri.

Les principaux projets de dérivation en Alberta (p. ex. le Projet de dérivation de la rivière Bow) visent principalement à fournir de l'eau aux 13 districts d'irrigation de la partie méridionale de la province. En Saskatchewan, ces gros projets (Projet de la rivière Saskatchewan Sud-Lac Diefenbaker et barrage Qu'Appelle) visent essentiellement à fournir de l'eau, notamment pour l'irrigation, même s'ils peuvent aussi servir à lutter contre les inondations et à des fins récréatives. Au Manitoba, les principaux projets (Projet de dérivation du Portage, canal de dérivation de Winnipeg et canal de dérivation de Carmen) servent surtout à lutter contre les inondations.

Il existe aussi des milliers de petits projets de dérivation partout dans les Prairies qui visent essentiellement à fournir de l'eau. Ces projets répondent aux besoins des projets d'irrigation, des collectivités et des particuliers. Ils dérivent normalement l'eau à partir d'un projet d'emmagasinage avoisinant grâce à des canaux ouverts, à des aqueducs ou aux deux. Ils souffrent souvent de pénuries d'eau étant donné que l'écoulement est variable dans les Prairies. Les périodes prolongées de *sécheresse* peuvent même mettre en danger les sources les plus sûres d'eau de surface.

## Eaux frontalières

**Échelle interprovinciale**

À l'extérieur des Prairies, il y a peu de rivières qui chevauchent les frontières provinciales. Étant donné que l'eau est surtout de ressort provincial, les provinces ont conclu entre elles des accords pour gérer les problèmes particuliers qui se posent dans l'utilisation de l'eau. Par exemple, l'entente de 1969 liant les trois provinces des Prairies garantit que :

- la moitié de l'écoulement naturel vers l'est de l'eau dont la source est en Alberta ou qui traverse cette province est réservée à la Saskatchewan
- la moitié de l'eau qui s'écoule vers l'est dont la source se trouve en Saskatchewan ou qui traverse cette province est réservée au Manitoba.

Il existe d'autres accords interprovinciaux là où il y a un besoin à combler. Par exemple, la rivière Outaouais marque la frontière entre l'Ontario et le Québec sur une grande partie de sa longueur. Les collectivités situées sur les deux rives s'en servent pour produire de l'énergie hydroélectrique, s'approvisionner en eau et évacuer leurs déchets. Les deux provinces se sont entendues en 1943 pour se partager la gestion de la rivière à des fins de production d'énergie hydroélectrique. Des deux côtés de la rivière, on s'approvisionne en eau et on élimine les déchets en ne dépassant pas la ligne médiane de la rivière; ces deux aspects ne sont donc pas couverts par les ententes.

**À l'échelle internationale**
L'entente la plus importante au sujet de l'utilisation et de la dérivation d'eau qu'ont signée le Canada et les États-Unis est le Traité des eaux limitrophes de 1909. En vertu de ce traité, 30 régies internationales de l'eau ont été créées et se composent chacune d'un nombre égal de représentants de chaque pays; elles sont chargées de gérer les rivières et fleuves internationaux que sont notamment le Columbia, la rivière St.-Mary-Milk, la rivière Rouge, la rivière Niagara, et le fleuve Saint-Jean et d'autres plans d'eau tels que le lac des Bois et les Grands Lacs.

Il surgit à l'occasion un problème international : celui de la dérivation de l'eau des Grands Lacs dans la rivière Mississippi, opération qui était au départ censée favoriser la navigation, mais qui vise maintenant aussi à accroître l'approvisionnement en eau et à favoriser l'élimination des effluents. On exerce parfois des pressions pour que le débit de dérivation soit accru, mais le Canada et les États américains qui ont besoin des Grands Lacs ont jusqu'ici résisté à toute demande de hausse.

## Conclusion

Le Canada jouit d'un bon approvisionnement d'eau souterraine pour l'agriculture, les propriétaires d'habitations, les usines et la faune. Toutefois, étant donné que cet approvisionnement n'est pas réparti également à l'échelle du pays, les productions végétales sont souvent tributaires de l'irrigation dans les régions arides (*voir* le chapitre 3) et du drainage dans les zones plus humides (*voir* le chapitre 10).

L'eau souterraine est bien répartie à l'échelle du pays et on l'utilise dans une certaine mesure dans toutes les régions. Elle revêt une importance particulière pour les agriculteurs et d'autres résidants ruraux, pour lesquels les puits sont souvent la seule source pratique d'eau. Cependant, dans la plupart des régions, ce sont les eaux de surface qui sont la principale source d'alimentation pour l'ensemble des habitants, la consommation d'eau de surface dépassant celle de l'eau souterraine au Canada dans une proportion de 25:1.

Même si les effets à long terme du réchauffement de la planète sur la disponibilité constante d'eau douce sont encore incertains (*voir* le chapitre 11), il est probable que nous pourrons continuer de bénéficier de cette abondance pendant encore de nombreuses années. Toutefois, si nous surexploitons cette ressource ou si nous la polluons, nous nous exposons un jour à en manquer.

# 3. Utilisation de l' eau

*E. Kienholz, F. Croteau, G. Fairchild, G.K. Guzzwell, D.I. Massé et T.W. Van der Gulik*

**Faits saillants**

- Il y a deux façons d'utiliser l'eau : en la consommant sur place et en la prélevant (dans ce cas, l'eau est parfois retournée à sa source, mais le plus souvent elle est consommée et n'est donc pas retournée pour servir à d'autres utilisations).
- En agriculture, une grande partie de l'eau est consommée; elle sert surtout pour les cultures et l'abreuvement des bestiaux, pour le nettoyage des bâtiments et du matériel agricole et pour les besoins ménagers.
- Les principaux concurrents de l'agriculture pour ce qui est de l'utilisation de l'eau sont la production d'énergie thermique, le secteur manufacturier et les municipalités. Se font concurrence également les pêcheries, les habitats fauniques et le monde des loisirs.
- Règle générale, la gestion des ressources en eau est de compétence provinciale, mais la législation fédérale réglemente certains aspects de la mise en valeur et de l'utilisation des ressources en eau. On a légiféré sur les droits relatifs à l'eau en vue de réglementer le prélèvement de l'eau de surface et de l'eau souterraine à des fins d'usage utile.

## Introduction

Les utilisations de l'eau sont très variées (fig. 3-1), mais elles entrent toutes dans deux catégories : les *utilisations non consommatrices d'eau*, qui laissent l'eau sur place (p. ex. les pêcheries, les habitats fauniques, la production d'énergie hydroélectrique et les loisirs) et les *prélèvements*, qui retirent l'eau de son milieu naturel; dans certains cas, l'eau est retournée à sa source après avoir été utilisée, mais dans d'autres, elle est *consommée* et ne peut donc être retournée. C'est le cas notamment de l'irrigation, des utilisations ménagères et municipales, de la production d'énergie thermique et des activités de transformation.

À l'échelle nationale, l'agriculture prélève une quantité relativement faible d'eau (9 %) comparativement à la production d'énergie thermique (63 %) et au secteur manufacturier (16 %) (fig. 3-2). Cependant, l'agriculture consomme une grande partie de ce qu'elle utilise, retournant moins de 30 % de l'eau à sa source, où elle pourrait servir de nouveau. Environ 75 % des prélèvements agricoles d'eau au Canada ont lieu dans la région semi-aride des Prairies.

Figure 3-1
Utilisation de l'eau
en milieu rural

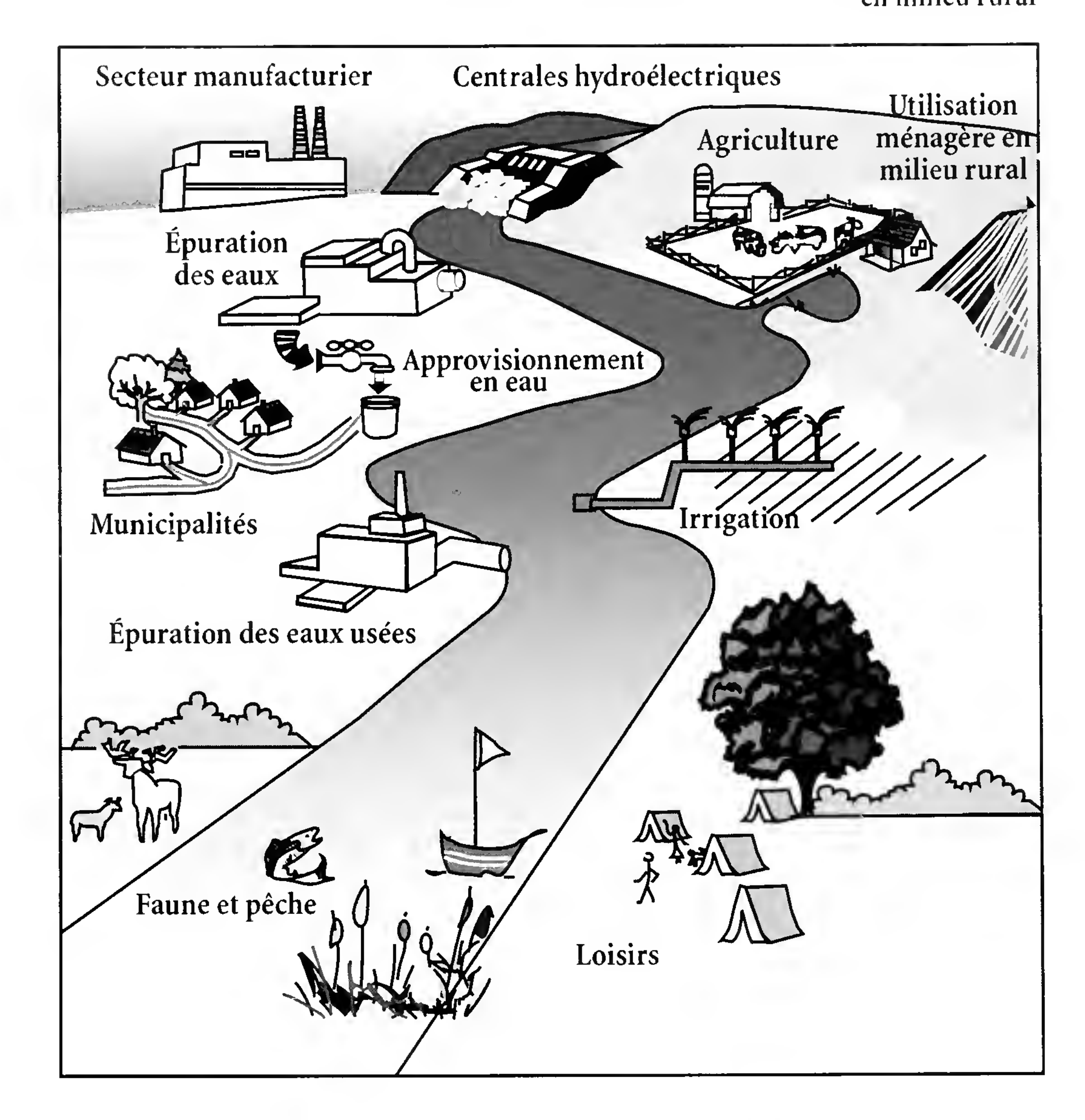
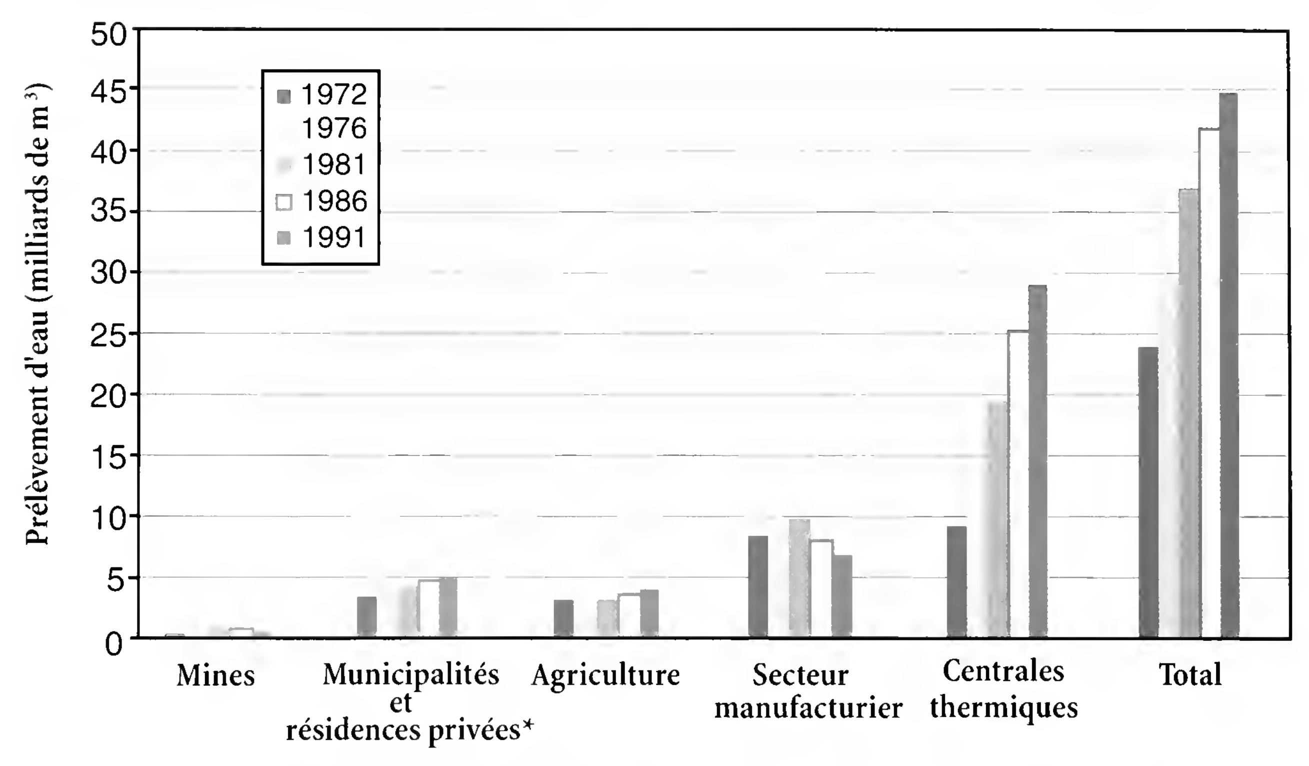


Figure 3-2
Prélèvement total d'eau au Canada, 1972–1991




Nota : Les chiffres concernant les résidences privées ne sont que des estimations et l'eau fournie aux usines à partir de sources municipales d'approvisionnement est exclue.

Source : Environnement Canada, 1998

### Les aspects économiques de l'irrigation

Dans les régions arides, il ne serait pas économiquement rentable de cultiver les terres sans irrigation. Celle-ci apporte aux cultures une quantité d'eau qui vient s'ajouter à ce que fournissent le sol et les précipitations. Grâce à elle, il est possible d'améliorer les rendements la plupart des années; en outre, elle permet aux agriculteurs de diversifier leurs activités et de produire des cultures telles que les légumes qui seraient autrement trop risquées dans les zones arides. Les cultures irriguées de pommes de terre et d'autres légumes enregistrent souvent en Amérique du Nord les coûts de production les moins élevés. Pour un grand nombre de légumes et de cultures de grande valeur, l'irrigation se justifie économiquement, même dans les régions non arides, étant donné que la valeur des rendements accrus fait amplement contrepoids au coût de l'investissement.

Règle générale, il est plus intéressant d'investir dans des systèmes d'irrigation les années où les prix des produits sont supérieurs à la moyenne et dans les régions où les rendements sont moins élevés que la moyenne en raison des précipitations insuffisantes ou des sols qui retiennent mal l'eau. Si les prix des produits augmentent, les investissements en irrigation sont encore plus rentables.

*H. Clark, Centre de développement de l'irrigation de la Saskatchewan*

La demande d'eau croît dans tous les secteurs, ce qui accentue les possibilités de rivalités et de conflits entre les utilisateurs. L'irrigation, qui est le principal consommateur d'eau en agriculture, est souvent au coeur de cette concurrence (*voir* l'encadré ci-contre).

Dans le présent chapitre, on traite surtout des principaux domaines de l'agriculture qui prélèvent l'eau (l'irrigation, les productions animales et les utilisations à la ferme). Il est également question des autres utilisations de l'eau en milieu rural, notamment la production d'énergie et les loisirs. Le chapitre 7 porte sur la nécessité de l'eau comme habitat pour les poissons et la faune et sur les rapports entre l'agriculture et les habitats aquatiques. En guise de conclusion au chapitre, on examine les textes de lois et de règlements pertinents des administrations provinciales et fédérale qui s'appliquent à l'utilisation de l'eau.

## Utilisation de l'eau en agriculture

### Productions végétales

Les plantes se servent de l'eau pour développer leurs tissus à l'aide du processus de la photosynthèse et pour régulariser leur température. Les plantes agissent à la manière des pompes, tirant l'eau du sol et l'acheminant dans les feuilles, d'où elle s'évapore dans l'atmosphère. Ainsi, les trois principaux

facteurs qui déterminent la quantité d'eau du sol qu'utilisent les plantes sont
- le type de plante
- la quantité d'eau dans le sol qui peut être absorbée par les plantes
- la quantité d'eau que l'atmosphère peut tirer des plantes et du sol.

La transpiration est le processus par lequel l'eau du sol se perd dans l'atmosphère après être passée dans la plante. La quantité maximum d'eau que les plantes peuvent absorber dans des conditions idéales et l'évaporation inévitable du sol constituent ce que l'on appelle l'évapotranspiration potentielle, qui dépend des conditions météorologiques. Les jours venteux et chauds, les plantes puisent beaucoup d'eau dans le sol et moins les jours frais.

Les plantes ne peuvent pas utiliser la totalité de l'eau du sol. Deux limites physiques déterminent la quantité d'eau du sol que les plantes peuvent absorber :
- l*a capacité de rétention (au champ),* qui est la limite supérieure
- *le point de flétrissement permanent,* qui est la limite inférieure.

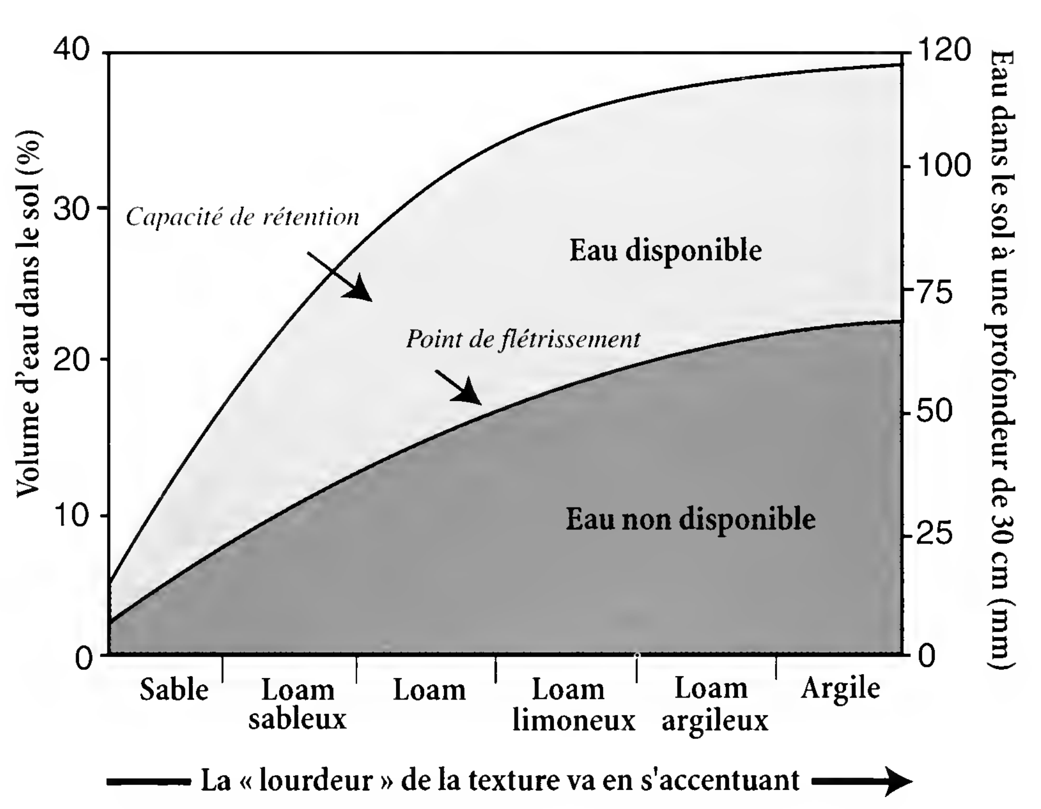
Un sol atteint sa capacité de rétention après avoir été entièrement détrempé et s'être égoutté pendant quelques jours. Si le drainage est mauvais, l'eau en surabondance peut endommager les cultures. Dès que les cultures ont tiré du sol l'eau dont elles ont besoin, il devient de plus en plus difficile pour elles d'utiliser l'eau qui reste. Par ailleurs, lorsqu'elles ne peuvent extraire assez d'eau pour répondre à leurs besoins, elles flétrissent. Dès le moment où les plantes ne peuvent plus récupérer d'un flétrissement diurne, moment que l'on désigne par point de flétrissement permanent, il n'y a plus d'eau dans le sol que les plantes peuvent absorber.

Entre la capacité de rétention et le point de flétrissement permanent, les plantes peuvent absorber l'eau présente dans le sol. Cette eau s'appelle alors *eau disponible*, et la quantité d'eau que le sol peut garder dépend surtout de sa *texture*. Les sols à texture moyenne et lourde comme le loam et l'argile retiennent beaucoup plus d'eau disponible que les sols à texture grossière ou sableuse (fig. 3-3). D'autres caractéristiques du sol influent aussi sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les plantes; il s'agit notamment :
- de la teneur en matière organique
- de la structure
- de la teneur en nutriments.

Il faut que la plante puisse disposer de la quantité appropriée d'eau au bon moment dans son cycle de croissance pour que les productions végétales agricoles réussissent. La quantité moyenne d'eau dont diverses cultures courantes ont besoin pour donner d'excellents rendements figure au tableau 3-1.

## Irrigation

Les régions arides de l'intérieur de la Colombie-Britannique et du sud des Prairies accusent d'importants déficits en eau un moment donné pendant la plupart des étés et peuvent être le théâtre de sécheresses prolongées. C'est là que l'on trouve une grande partie du million d'hectares de terres agricoles irriguées du Canada (fig. 3-4); l'Alberta à elle seule en compte près de 60 % (*voir* l'étude de cas). Dans les provinces centrales et dans l'est du Canada, la nécessité de sources d'eau d'appoint est moindre en raison des conditions relativement plus humides qui y règnent, mais on y pratique une irrigation limitée pour les cultures de grande valeur (p. ex. fruits et légumes). L'irrigation comporte entre autres les avantages suivants :
- stabilité accrue de la production
- possibilité de production d'une large gamme de cultures de grande valeur
- intensification de la production.




Adapté de Brady and Weil, 1996

**Figure 3-3**
**Rapport entre la texture et l'eau du sol**

## Étude de cas
## L'irrigation en Alberta

Environ 60 % des terres agricoles irriguées au Canada se trouvent en Alberta : à peu près 620 000 hectares (1,533 million d'acres) ont été irrigués en 1997. Plus des trois quarts de cette superficie sont situés dans les 13 districts d'irrigation du sud de l'Alberta, où sont également concentrés les projets privés d'irrigation.

Les réseaux des rivières Oldman et Bow, dont l'eau provient surtout de la fonte des neiges des Rocheuses, alimentent en eau tous les districts d'irrigation. Pour capter et emmagasiner les eaux d'écoulement du printemps en vue de les utiliser plus tard au cours de l'été pour l'irrigation, on a aménagé sur ces réseaux fluviaux 48 réservoirs qui ont une capacité utilisable combinée de 2 826 décamètres cubes (2 289 acres pieds). Ces réservoirs approvisionnent aussi en eau les municipalités, le secteur industriel, les élevages de bestiaux et les exploitations agricoles (utilisations ménagères); on s'en sert aussi pour les loisirs.

En 1997, le volume total d'eau attribué aux détenteurs de permis d'irrigation dans les 13 districts a été de 3 438 décamètres cubes (2 785 milliers d'acres pieds). Toutefois, le volume réel d'eau détournée s'est établi à 68 % du volume octroyé (la quantité d'eau utilisée varie considérablement d'une année à l'autre en fonction des fluctuations des précipitations et des températures). Dans la décennie précédant 1997, le volume d'eau dérivée a varié d'un sommet de 2 879 décamètres cubes (2 332 milliers d'acres pieds, soit 88 % du volume attribué), enregistré en 1988, année extrêmement chaude, à un creux de 1 386 décamètres cubes (1 123 milliers d'acres pieds; 40 % du volume attribué), en 1993.

En 1997, la répartition des cultures produites dans les districts d'irrigation était la suivante : 40 % en céréales, 40 % en fourrages, 9 % en oléagineux, 11 % en cultures spéciales et 0,5 % en autres cultures. C'est le District d'irrigation de Taber qui a affiché le degré de diversification le plus élevé au chapitre des cultures spéciales de grande valeur, une proportion de 29 % de ses superficies irriguées étant consacrées notamment à la betterave sucrière, à la pomme de terre et au maïs. Les établissements de transformation de Taber et de Lethbridge et des environs peuvent absorber des hausses de la production de cultures spéciales, et le climat de cette région est plus propice à ces cultures. La production de cultures spéciales a aussi été importante dans les Districts d'irrigation de la rivière Saint Mary et de la rivière Bow.

Selon les données de 1994, les dispositifs d'irrigation les plus courants à la ferme étaient les arroseurs automoteurs à rampe mobile en ligne et les arroseurs géants, qui constituaient 33 et 30 % respectivement de l'ensemble des surfaces irriguées. Par ailleurs, une proportion de 20 % des superficies était irriguée par des systèmes gravitaires moins efficaces et seulement 0,1 % par des systèmes goutte-à-goutte, qui n'en étaient alors qu'aux premières étapes de leur mise au point. Depuis le début des années 1970, époque où seulement 20 % des terres irriguées l'étaient au moyen de systèmes d'arrosage, on a réalisé des progrès importants dans l'amélioration de l'efficacité des systèmes d'irrigation

Dans le cadre des efforts constants qu'on déploie dans la province depuis les années 1970 pour moderniser les ouvrages d'irrigation, on a notamment remis en valeur les ouvrages de prise d'eau d'irrigation, les canaux principaux et les systèmes de distribution. Entre autres modifications, on a réaménagé des canaux, amélioré les canalisations, protégé contre l'érosion, drainé et aménagé des aqueducs. Par ailleurs, en mettant à jour la répartition de l'eau dans chaque district au début des années 1990, en élaborant de nouvelles dispositions législatives, en menant des recherches et en faisant de la vulgarisation, on a amélioré la gestion et l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

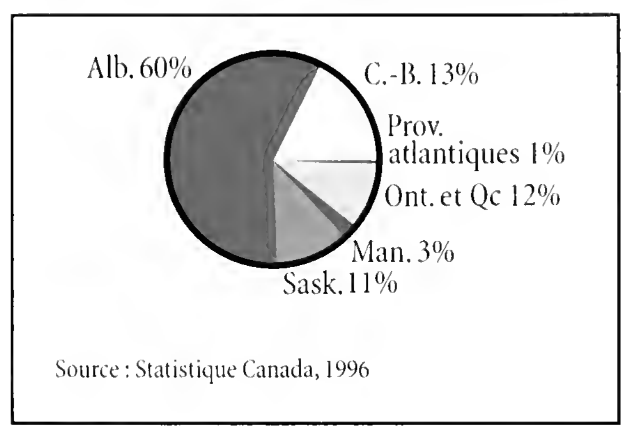
L'aménagement des systèmes d'irrigation en Alberta se fondait sur la législation de 1895 qui conférait la propriété de toutes les eaux de surface à l'État et lui en confiait la réglementation. L'*Alberta Irrigation Districts Act* de 1915, ancêtre de l'actuelle *Irrigation Act* (1968), prévoyait l'instauration de districts d'irrigation. Par ailleurs, les South Saskatchewan Basin Water Allocation Regulations prémunissaient contre les pénuries d'eau en réglementant les superficies de terres pouvant être irriguées. En vertu de ce règlement, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et du Développement rural de l'Alberta estime que les superficies irriguées pourraient être accrues à 688 000 acres (1,7 million d'acres). L'assemblée législative provinciale a adopté en 1999 une nouvelle loi en matière d'irrigation. Cette loi confirme que les districts d'irrigation sont des sociétés indépendantes chargées de gérer l'eau se trouvant sur leur territoire. Elle leur permet également de tenir des activités qui sont la source de revenu supplémentaire. Par exemple, Irican, activité commerciale relevant des districts d'irrigation de la rivière Saint Mary et de Raymond, exploite deux petites usines de production d'hydroélectricité qui sont situées sur des canaux principaux.

*E. Kienholz, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

**Tableau 3-1**
**Besoins en eau de diverses cultures pendant la période de croissance**

| Culture | Utilisation moyenne (mm) d'eau | Période de croissance (jours) |
|---|---|---|
| Luzerne | 635 | 155 |
| Graminées | 610 | 150 |
| Betteraves sucrières | 559 | 155 |
| Pommes de terre | 508 | 140 |
| Blé de printemps | 457 | 100 |
| Avoine | 406 | 95 |
| Orge | 406 | 90 |
| Lin | 381 | 100 |
| Maïs cultivé | 381 | 120 |
| Tomates | 356 | 105 |
| Pois de conserverie | 330 | 80 |

Source : Université de la Saskatchewan, 1984




Source : Statistique Canada, 1996

**Figure 3-4**
**Répartition des terres irriguées au Canada**

Le débit prévu de pointe d'un système d'irrigation varie selon le climat, les cultures à arroser et l'état du sol. On peut toutefois s'en faire une idée à partir du taux d'évapotranspiration maximum (tableau 3-2). La quantité d'eau prélevée à des fins d'irrigation varie d'une année à l'autre et est surtout fonction de deux facteurs :

- les précipitations hivernales
- les conditions météorologiques et la teneur en eau des sols pendant la période végétative.

Dans des régions telles que le sud-ouest de la Saskatchewan, c'est l'écoulement du printemps qui détermine la quantité d'eau dont on pourra disposer pour l'irrigation pendant l'été qui suit. La température, la quantité et le moment des précipitations, les vents et l'évaporation sont tous des facteurs qui influent sur la nécessité de sources d'eau d'appoint pour assurer la croissance optimale des cultures.

C'est souvent la province qui octroie les permis d'utilisation d'eau aux gros projets d'irrigation se trouvant sur son territoire; elle peut ainsi réglementer les prélèvements globaux faits à partir d'une source donnée d'eau et minimiser le risque de conflits entre les utilisateurs. Le permis prescrit le volume maximum d'eau qui peut être prélevé une année donnée. La quantité autorisée est souvent de beaucoup supérieure aux prélèvements effectués une année moyenne.

**Tableau 3-2**
**Débits nécessaires des systèmes d'irrigation**

| Taux d'évapotranspiration (mm/jour)3 | Débit des systèmes d'irrigation (L/s/ha) |
|---|---|
| 3 | 0,5 |
| 4 | 0,68 |
| 5 | 0,84 |
| 6 | 1,03 |
| 7 | 1,18 |

Source : Association de l'irrigation de l'industrie de la Colombie-Britannique, 1989

### Nouvelle technologie d'irrigation

Le Centre de développement de l'irrigation de la Saskatchewan, situé à Outlook (Saskatchewan), a récemment entrepris des travaux de recherche qui visent à évaluer, dans les conditions des Prairies, une technologie relativement nouvelle appelée Méthode de pulvérisation à faible élévation (LESA). Les systèmes d'irrigation à pivot central exigent beaucoup d'énergie, ce qui en limite l'utilisation utile. Dans cette étude, on a modifié la pression de l'eau dans un dispositif à pivot central muni de buses types en la faisant passer de moyenne à faible grâce à l'addition de tuyaux de descente et de buses à lent débit.

Les buses types et à lent débit ont été efficaces lorsque le vent soufflait plus fort, mais les deuxièmes ont été plus performantes peu importe la vitesse des vents. Comparativement à un dispositif à pression moyenne, la technologie LESA a été en moyenne

- 8 % plus efficace
- a utilisé 50 % moins d'énergie pour appliquer la même quantité d'eau.

*K. B. Stonehouse, Université de la Saskatchewan*

## Irrigation par effluents

L'utilisation des effluents municipaux traités comme source d'eau pour l'irrigation des cultures agricoles, des arbres ou des parcours de golf est une pratique bien implantée dans les Prairies. Actuellement, il y a environ 65 projets d'irrigation qui couvrent un total de 5 700 hectares. Ces projets permettent d'écouler moins de 5 % de la quantité totale d'effluents déversée dans les Prairies, mais on pourrait irriguer 115 000 hectares si cette pratique était élargie. Une telle expansion permettrait également de réduire ou d'éliminer les déversements non souhaitables dans les cours d'eau naturels. Les études révèlent que l'irrigation par effluents est propice à l'environnement à la condition que les projets soient conçus et gérés de manière à protéger la qualité de l'eau et des sols.

*E. Kienholz, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

Les utilisateurs d'effluents et le grand public doivent comprendre comment ces projets sont propices à l'environnement. Il ne faudrait envisager d'irriguer à l'aide d'effluents à des fins de développement économique que s'il est possible de protéger à long terme les surfaces visées et que si les projets comportent des mesures de contrôle permettant de mesurer les changements que subit l'écosystème. On juge en général que l'irrigation par effluents à des fins d'élimination des eaux usées municipales est la solution la moins nuisible à l'environnement. Dans ce cas, on peut parler de protection de l'environnement au sens large par opposition à la durabilité d'un site d'élimination. Il est essentiel de prédire dans quelle mesure un site sera durable et d'établir des procédures de contrôle si l'on veut que les organismes de réglementation puissent évaluer le potentiel de tout site à des fins d'irrigation par effluents.

*T.J. Hogg et L.C. Tollefson, Centre de développement de l'irrigation de la Saskatchewan*

Pour accroître les superficies irriguées, il faut tenir compte des caractéristiques du sol et miser sur un approvisionnement sûr en eau de qualité convenable. Avant d'approuver leurs plans d'irrigation, certaines provinces exigent des producteurs pratiquant l'irrigation qu'ils mènent une étude sur la compatibilité de l'eau du sol.

Afin de restreindre la concurrence avec les autres utilisateurs d'eau, les agriculteurs qui irriguent, le secteur privé, les gouvernements et les chercheurs ont collaboré pour améliorer l'efficacité avec laquelle l'eau d'irrigation est emmagasinée, transportée et appliquée dans les champs. Par exemple,

- les ouvrages de prise d'eau pour l'irrigation, les canaux principaux et l'ensemble des réseaux de distribution ont été rénovés afin de minimiser les pertes d'eau
- on encourage les agriculteurs qui irriguent à délaisser les réseaux gravitaires moins efficaces pour adopter des réseaux à gicleurs plus performants ou des systèmes de goutte-à-goutte très efficients
- certains agriculteurs qui irriguent transforment des terres *salines* en terres *arides*
- les administrations publiques et le secteur mènent des projets de recherche et de démonstration qui visent à déterminer la possibilité d'appliquer de nouvelles stratégies d'irrigation (*voir* l'encadré, p. 21) et à définir les besoins réels en eau des cultures irriguées
- on se sert de dispositifs de mesure de la consommation d'eau au niveau des districts et des exploitations en vue de tarifer l'utilisation de l'eau selon la consommation.

On traite de l'efficacité de l'utilisation de l'eau aux chapitres 9 et 11.

Il est admis que l'*irrigation par effluents* est une façon efficace et respectueuse de l'environnement pour éliminer les eaux usées municipales traitées (*voir* l'encadré ci-contre). Des petites et grandes villes partout au Canada utilisent cette méthode, particulièrement dans les Praires, car elle est une source précieuse d'eau d'irrigation et de nutriments pour les fourrages et les autres cultures agricoles, surtout dans les régions où il y a des pénuries d'eau.

## Protection contre le gel

On peut se servir de l'eau pour protéger les cultures contre le gel :

- l'irrigation par l'inondation, comme cela se pratique dans les cultures de canneberges
- l'aspersion sur frondaison pour retarder la floraison des cultures horticoles
- l'arrosage sur ou sous frondaison pendant les gels, comme pour les fruits de verger et les raisins.

Le débit d'irrigation doit varier de 6,5 à 10 litres par seconde par hectare, selon la gravité du gel.

## Productions animales

Pour élever des animaux, il faut avoir facilement accès à de l'eau de qualité convenable. Cette eau sert surtout à abreuver des animaux, mais on en a aussi besoin pour nettoyer les installations, désinfecter le matériel et diluer le fumier.

L'eau joue un rôle important dans la croissance des animaux et l'entretien de leurs tissus corporels, la reproduction et la lactation. Les animaux perdent de l'eau corporelle par l'expiration d'air, dans le lait, dans l'urine et dans les matières fécales ainsi que par évaporation cutanée. Les animaux dont l'ingestion d'eau est restreinte à cause de sources

**Tableau 3-3**
**Besoins journaliers moyens en eau des animaux de ferme**

| Type d'animal | Eau (L/jour) |
|---|---|
| Bovin d'engrais | 35 |
| Vache de type à viande | 55 |
| Vache laitière | 160 |
| Truie nourrice | 20 |
| Porc d'engraissement | 10 |
| Brebis | 7 |
| Poule pondeuse | 0,25–0,30 |
| Poulet à griller | 0,15–0,20 |

Source : Université de la Saskatchewan, 1984

limitées d'approvisionnement ou de la mauvaise qualité de l'eau auront tendance à manger moins, à croître moins rapidement et à être moins productifs. Dans certains cas, ils peuvent devenir malades et même mourir.

La quantité d'eau ingérée par un animal varie selon

- l'espèce
- les conditions physiologiques (notamment l'âge et le fait que l'animal est en lactation ou non)
- des facteurs d'ordre environnemental comme la température, l'humidité, le niveau d'activité et la teneur en eau des aliments.

Par exemple, une vache laitière en lactation peut boire de 70 à 140 litres d'eau par jour alors qu'une vache tarie n'en aura besoin que de 35 à 60 quotidiennement. Le tableau 3-3 illustre les besoins quotidiens moyens en eau de divers types d'animaux.

La figure 3-5 illustre comment une exploitation laitière utilise l'eau. Il est possible de réduire la quantité d'eau consommée

- en grattant ou en balayant les planchers avant de les laver
- en réutilisant l'eau qui a servi à rincer le matériel pour laver les planchers
- en utilisant des gicleurs à haute pression pour le lavage
- en installant des éviers qui économisent l'eau
- en utilisant l'eau du premier rinçage tirée des lactoducs pour abreuver les veaux.

Le fait de réduire le volume d'eau utilisée a aussi l'avantage supplémentaire d'abaisser la quantité d'eau usée qui doit être stockée et manipulée.

Les études menées sur l'utilisation de l'eau dans les porcheries ont révélé qu'il est possible de réaliser des économies énormes en eau au moyen de bols et d'abreuvoirs à cuvette au lieu d'abreuvoirs à tétine, qui sont le dispositif le plus répandu d'abreuvement utilisé dans les porcheries. Les porcelets de croissance et de finition peuvent gaspiller jusqu'à 60 % de l'eau s'ils s'abreuvent à l'aide d'un dispositif à tétine. Ce gaspillage vient grossir considérablement le volume des eaux usées et accroître le coût du stockage et de l'élimination des effluents.

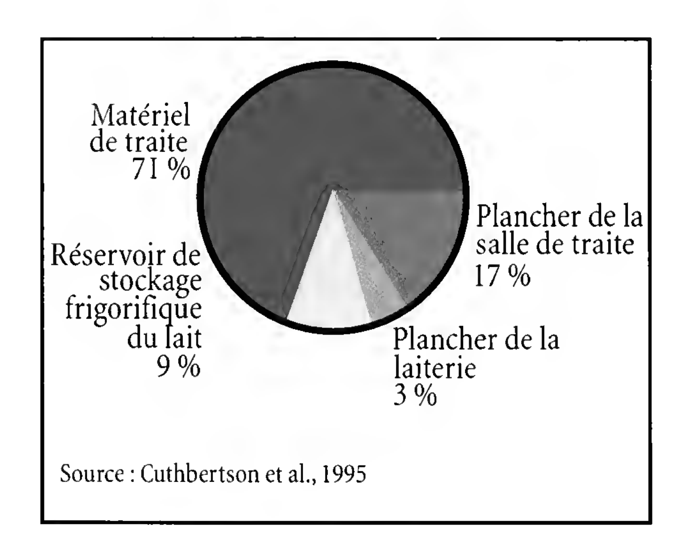
## Utilisation ménagère de l'eau en milieu rural

À l'encontre de leurs cousins citadins, les agriculteurs et les autres résidants des régions rurales doivent veiller eux-mêmes à s'approvisionner en eau. Leurs sources d'alimentation en eau peuvent être uniques, ou comprendre une ou plusieurs des sources suivantes :

- un puits peu profond ou profond
- un lac, un ruisseau, une rivière, un étang ou une fosse-réservoir de ferme
- une citerne remplie d'eau de pluie ou d'eau provenant d'une source éloignée
- un aqueduc régional d'approvisionnement en eau (*voir* l'encadré, p. 24).

Dans les situations d'urgence, les familles rurales peuvent également acheter de l'eau embouteillée pour la boire et s'en servir pour la cuisson.

Il se peut qu'on se serve de différentes sources d'approvisionnement en eau à diverses fins, notamment pour la boire, pour arroser le gazon et le jardin et pour abreuver les animaux. Il faut parfois soumettre l'eau à un traitement pour s'assurer qu'elle soit de qualité convenable pour des utilisations ménagères. Il est souvent très coûteux au départ de s'assurer une source fiable




Source : Cuthbertson et al., 1995

**Figure 3-5**
**Utilisation de l'eau dans les salles de traite**

## Les aqueducs

L'aménagement de nombreux aqueducs en milieu rural dans les années 1980 et 1990 a assuré un approvisionnement fiable en eau de première qualité à de nombreux habitants des Prairies. Il a été possible d'installer de telles canalisations grâce à l'arrivée sur le marché de tuyaux en polyéthylène durables de petit diamètre, qui coûtent peu et sont faciles à mettre en place. L'approvisionnement fiable en eau qu'offrent ces aqueducs a suscité de nouvelles possibilités de développement économique et d'essor et a amélioré la qualité de vie des régions desservies. Bien que ces canalisations appartiennent habituellement à des associations locales, qui en assurent l'exploitation, des groupes ont bénéficié à cet égard d'une aide technique et financière d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (Administration du rétablissement agricole des Prairies) et d'organismes provinciaux des trois provinces des Prairies.

Pour illustrer les avantages d'un aqueduc en milieu rural, il convient de relater l'expérience vécue par une famille agricole comptant deux adultes et un adolescent qui habite le sud-est de la Saskatchewan. Avant que leur exploitation ne soit branchée à l'aqueduc en 1996, cette famille avait toujours transporté l'eau qu'elle utilise à des fins ménagères de Weyburn (Saskatchewan), ville située à huit kilomètres de la ferme. Il n'y avait pas de bons puits dans la région et l'eau des fosses-réservoirs était de mauvaise qualité. La famille transportait en moyenne 4 500 litres par semaine, emmagasinant l'eau dans une citerne de 9 100 litres installée dans le sous-sol de l'habitation. Même si la consommation journalière d'eau de cette famille est restée passablement la même (environ 216 litres par personne) depuis l'installation de l'aqueduc, la famille affirme que « le fait de ne pas à avoir à transporter de l'eau toutes les semaines est l'une des meilleures choses qui pouvait lui arriver! »

*E. Kienholz, Agriculture et Agroalimentaire Canada*



*Installation de pipeline*

d'approvisionnement en eau; le prix varie de 5 000 à 25 000 $. Les résidants ruraux doivent également assumer le coût de systèmes de traitement à domicile et les frais fixes de fonctionnement et d'entretien qu'ils occasionnent.

Les Canadiens viennent immédiatement derrière les Américains pour ce qui est de la quantité moyenne d'eau que chaque personne consomme tous les jours (fig. 3-6). Il est difficile de dire où se situe l'utilisation ménagère dans les régions rurales comparativement à cette moyenne étant donné que les autorités provinciales n'exigent pas de permis pour la consommation d'eau à des fins ménagères à la ferme; en outre, on mesure rarement la consommation d'eau des résidants ruraux. Il y a toutefois une exception à cette règle dans les Prairies : les aqueducs régionaux récemment aménagés.

Les dispositifs de mesure installés sur les branchements aux aqueducs dans le sud-est de la Saskatchewan indiquent que la consommation journalière moyenne d'eau par personne varie de 225 à 373 litres, si l'on présume que peu d'eau sert pour l'extérieur. L'âge des membres de la famille joue un rôle dans la consommation d'eau : ce sont les ménages où il y a des bébés ou de jeunes enfants qui en consomment le plus. À titre comparatif, la consommation d'eau mesurée dans le sud de l'Alberta pour une famille de cinq disposant d'un dispositif privé de traitement et d'approvisionnement en eau était de 155 litres par personne par jour, encore là en présumant peu d'utilisation à l'extérieur.

Ces chiffres révèlent que les résidants ruraux consomment un peu moins d'eau à des fins ménagères que le Canadien moyen résidant dans une collectivité qui dépasse 1 000 habitants. Les données sur la consommation municipale d'eau compilées par Environnement Canada révèlent qu'en 1994, l'utilisation journalière moyenne par personne variait de 258 à 445 litres. Le chiffre le moins élevé vaut pour les ménages qui payaient l'eau en fonction du volume consommé et le plus élevé, pour les ménages qui payaient l'eau à tarif fixe, sans égard à la quantité consommée.

Dans une certaine mesure, ce sont les mêmes facteurs qui influent à la fois sur la consommation d'eau des résidants ruraux à des fins ménagères et sur celle des citadins. Les adultes utilisent généralement moins d'eau que les adolescents et les jeunes enfants. La popularité croissante des lave-vaisselle et des lessiveuses automatiques peut également expliquer en partie la hausse de la consommation d'eau dans les régions urbaines et rurales, mais celle-ci varie selon l'efficacité avec laquelle on les utilise (fig. 3-7). Les résidants ruraux s'urbanisent de plus en plus dans leur mode de vie et s'attendent davantage à bénéficier du même niveau de services de base. On prévoit que cette évolution aura pour effet d'augmenter la consommation d'eau. Par contre, ce sont encore les résidants ruraux qui subissent plus directement le contrecoup des sécheresses et des pénuries d'eau. Ils réagissent habituellement plus rapidement en diminuant leur consommation, surtout à l'extérieur.

## Autres utilisations de l'eau en milieu rural

### Production d'énergie électrique

Pour produire de l'énergie électrique, il faut de gigantesques quantités d'eau. Une proportion d'à peu près 60 % de l'eau utilisée pour la production d'énergie thermique est consommée.

L'hydroélectricité est la principale source d'énergie au Canada; en 1996, elle représentait près de 60 % de l'ensemble de l'énergie produite au pays. Toutes les provinces canadiennes, à l'exception de l'Île-du-Prince-Édouard, produisent de l'énergie hydroélectrique. Le Québec génère la moitié de cette forme d'énergie au Canada; la Colombie-Britannique, le Manitoba, l'Ontario et Terre-Neuve sont aussi d'importants producteurs. Même si les projets hydroélectriques agissent sur l'environnement en inondant les vallées et en modifiant les cours d'eau situés en amont et en aval des réservoirs, les principaux projets de cette nature sont en dehors des régions agricoles du pays.

L'énergie hydroélectrique est tributaire de l'énergie présente dans la force de l'eau qui chute, mais ne prélève pas d'eau. Les centrales se classent en deux grandes catégories :

- les centrales de stockage, qui ont besoin de gros réservoirs pour emmagasiner l'eau en période de crue et en régulariser l'écoulement pour produire de l'énergie; de tels réservoirs servent souvent à d'autres fins, notamment pour les loisirs, pour la lutte contre les inondations et comme source d'approvisionnement en eau
- les centrales au fil de l'eau, qui fonctionnent surtout au rythme du débit fluvial naturel ou régularisé.

Pour produire de l'énergie électrique par voie thermique, on se sert de combustibles (p. ex. du charbon, du gaz naturel ou de l'uranium) pour obtenir de la vapeur qui actionnera une turbine jumelée à une génératrice. Ce mode de production d'énergie exige de grandes quantités d'eau, car il faut refroidir les condenseurs. L'eau de refroidissement, encore chaude, est finalement retournée à la source. En 1996, l'Ontario a produit 55 % de l'énergie thermique du Canada, qui a accaparé près de 70 % de la consommation brute d'eau de la province. L'Alberta vient au deuxième rang à ce chapitre (17 %), mais utilise proportionnellement moins d'eau étant donné que celle-ci est recirculée à deux de ses centrales thermiques.

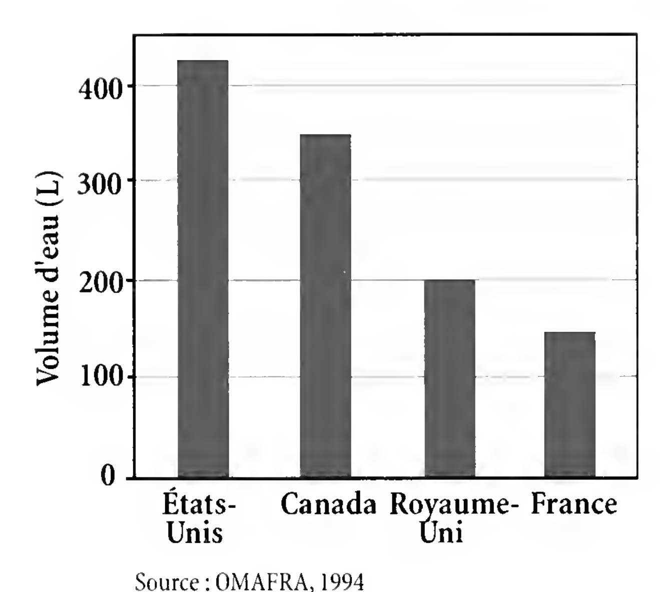



**Figure 3-6 Utilisation journalière moyenne d'eau à des fins ménagères, par personne**

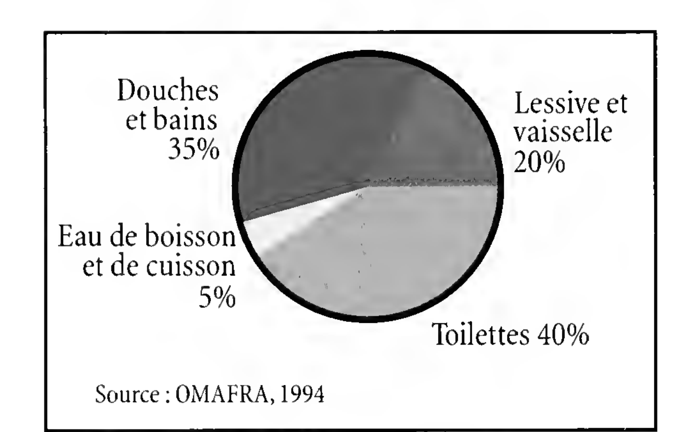



**Figure 3-7 Consommation moyenne d'eau dans les foyers canadiens**

### Utilisation de l'eau par les municipalités rurales

Le Canada rural compte plus de 2 200 petites collectivités (population inférieure à 10 000 habitants). Environ 80 % des gens qui habitent ces collectivités sont desservis par des réseaux municipaux d'alimentation en eau. Ils prélèvent environ 84 % moins d'eau que l'agriculture et ne consomment qu'environ 15 % de ce qu'ils utilisent. Une grande partie de l'eau va à l'arrosage des gazons et des jardins. Le gros du restant est généralement retourné aux réseaux sous forme d'eaux usées traitées. Environ 40 % des réseaux municipaux d'approvisionnement tirent au moins en partie leur eau de sources souterraine.

### Secteur manufacturier

Le secteur manufacturier prélève environ deux fois plus d'eau que l'agriculture. Une grande partie de cette eau provient directement des systèmes d'approvisionnement des utilisateurs et à peu près 10 % sont d'origine municipale. Les papeteries, les usines de métaux primaires et les fabricants de produits chimiques viennent de loin au premier rang parmi les utilisateurs. Ils ont dépensé près de

## L'embouteillage de l'eau au Québec : une histoire de concurrence

L'industrie de l'embouteillage de l'eau au Québec est en plein essor; elle emploie directement et indirectement 5 000 personnes et génère des ventes de 75 millions de dollars par année. La croissance rapide de ce secteur laisse toutefois certains citoyens perplexes : disposeront-ils d'assez d'eau pour leurs besoins? Ils craignent que l'absence de contrôles et règlements sur l'utilisation de la nappe souterraine n'incite l'industrie de l'embouteillage à prélever plus que sa juste part, épuisant ainsi les réserves d'eau dont on a aussi besoin pour les utilisations ménagères, l'agriculture et d'autres activités.

Dans la municipalité québécoise de Franklin, les citoyens ont formé un comité en vue de s'opposer à un nouveau projet d'embouteillage. Le comité prétend qu'un projet analogue situé près de Mirabel a nui à la quantité et à la qualité de l'eau utilisée par 85 % des gens vivant dans un rayon de huit kilomètres du puits commercial. Un grand nombre d'agriculteurs de Franklin sont aussi tributaires de la nappe souterraine pour irriguer leurs cultures fruitières. L'aquifère dessert également deux municipalités, deux usines agroalimentaires et deux terrains de camping qui accueillent 10 000 visiteurs chaque été. Les citoyens de Franklin ont raison de se demander si leur nappe souterraine durera. Le problème est le suivant : on ignore quelle quantité d'eau s'y trouve, comment elle se renouvelle et comment les activités d'extraction comme l'embouteillage d'eau influent sur la ressource.

Compte tenu des pressions publiques et médiatiques, le gouvernement du Québec a imposé un moratoire sur l'industrie de l'embouteillage de l'eau en décembre 1997, bloquant toutes les nouvelles demandes de permis tant qu'une nouvelle politique ne viendra pas encadrer les droits relatifs à l'eau et la gestion de l'eau au Québec. Les membres de cette industrie protestent contre cette mesure, affirmant qu'ils n'embouteillent qu'une fraction (un demi-million de mètres cubes) de la quantité totale d'eau souterraine utilisée au Québec tous les ans, alors que la l'aquaculture en consomme 40 % (100 millions de mètres cubes). Ils décrient également la pollution que l'agriculture cause à l'eau et sollicitent des zones exclusives et protégées pour leur industrie qui protégeraient la qualité de leurs produits.

À quelle utilisation d'eau devrait-on accorder la priorité? Qui devrait être habilité à prendre les décisions à ce sujet? Tous les intervenants conviennent qu'il faut légiférer pour établir des règles précises et équitables qui protégeront les ressources en eau souterraine sur le double plan de la qualité et de la quantité.

*M. C. Nolin, Agriculture et Agroalimentaire Canada*



80 % de l'eau destinée à des fins manufacturières en 1991. Pour sa part, le secteur de la transformation des aliments et des boissons en a utilisé moins de 6 % de cette année là. Toutefois, cette proportion pourrait augmenter étant donné que les provinces stimulent la transformation des produits agricoles et autres produits primaires.

Environ 10 % de l'eau utilisée par le secteur manufacturier proviennent des puits et le reste, des sources d'eau de surface. Contrairement à l'agriculture, le secteur manufacturier ne consomme qu'environ 7 % de l'eau qu'il utilise. Le reste est écoulé sous forme d'eaux usées de qualité variable. Le secteur recycle aussi l'eau à l'interne et utilise presque autant d'eau recyclée qu'il en tire de diverses sources.

### Mines, pétrole et gaz

Le secteur minier et celui de l'extraction du pétrole et du gaz constituent ensemble les plus petits utilisateurs d'eau en milieu rural, prélevant moins de 20 % des quantités qu'utilise le secteur agricole. L'eau qu'il puise est en grande partie injectée dans des puits profonds jalonnant les champs pétroliers et gazifères des Prairies, proportion qui se chiffre à près de 30 %. Les eaux usées écoulées sont souvent riches en substances solides en suspension, en métaux lourds et en acides.

### Secteur de la pêche, aquaculture et habitat faunique

On traite au chapitre 7 de l'utilisation de l'eau comme habitat pour les poissons et d'autres espèces fauniques. L'importance de l'*aquaculture* augmente dans les collectivités rurales et côtières et, pour continuer d'être florissante, elle devra compter sur une disponibilité d'eau de qualité convenable. Il n'y a pas lieu ici de discuter plus amplement de ce secteur, car il déborde de la portée du présent rapport.

### Loisirs

Partout au Canada, les administrations publiques et les groupes privés ont aménagé des parcs, des zones récréatives, des sites pour chalets et des espaces naturels. L'eau joue souvent un rôle important dans ces régions et dans les activités récréatives qui s'y déroulent, notamment la navigation de plaisance, la natation, le véliplanchisme, le ski nautique, la pêche, la chasse, l'observation de la faune et le tourisme.

L'intérêt grandissant que suscitent l'*écotourisme* et l'*agrotourisme* (p. ex. des fermes et des élevages d'accueil) offre aux Canadiens des régions rurales l'occasion de diversifier et d'agrandir leurs entreprises. La présence d'eau et l'habitat qu'elle assure aux poissons et à la faune rehaussent ces possibilités.

Le centre et l'est du Canada, ainsi qu'une grande partie de la Colombie-Britannique, jouissent d'une abondance relative de lacs, de ruisseaux et de rivières qui se prêtent aux activités récréatives gravitant autour de l'eau. Même si les Prairies et certaines régions de l'intérieur de la Colombie-Britannique possèdent moins de ressources en eau de première qualité, les résidants se tournent néanmoins vers leurs lacs et leurs cours d'eau pour leurs activités de loisir. Dans le sud des Prairies, les réservoirs de stockage constituent une ressource importante pour l'aménagement de parcs publics et de zones de chalets privés (*voir* l'encadré, p. ).

**Utilisation du lac Diefenbaker (Saskatchewan) pour les loisirs**

Le lac Diefenbaker, qui a été créé grâce aux barrages Gardiner et Qu'Appelle aménagés sur la rivière Saskatchewan-Sud, est un réservoir à fins multiples. En plus de constituer une source d'eau de première qualité pour les grands projets d'irrigation, la production d'énergie hydroélectrique et la satisfaction des besoins ménagers et municipaux, il est une ressource importante pour les loisirs des résidants de la partie méridionale de la province.

Il y a trois parcs provinciaux, quatre parcs régionaux, plusieurs endroits de villégiature, deux terrains de golf et un yacht club qui donnent sur le lac. Sur le réservoir, on peut également pratiquer la pêche sportive, observer la sauvagine et chasser. On déploie des efforts pour garder le niveau de l'eau du lac élevé et stable en juillet et en août afin de répondre aux besoins des estivants et autres utilisateurs et de préserver la stabilité du niveau d'eau de la rivière située au pied du barrage Gardiner.

*E. Kienholz, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

## Réglementation de l'utilisation de l'eau

Étant donné que la demande d'eau va en augmentant et que les approvisionnements de cette ressource sont limités, la plupart des provinces ont légiféré en matière de droits de consommation d'eau et réglementé les prélèvements d'eau de surface et d'origine souterraine pour des usages bénéficiaires (*voir* l'encadré, p. 10). Il y a toutefois une exception à cette règle : au Québec et en Colombie-Britannique, le prélèvement d'eau souterraine ne fait pas l'objet de permis (*voir* l'encadré ci-contre). Autre aspect de la question : l'exportation d'eau. Même si cette question a suscité des débats animés, on croit en général que l'eau ne devient un produit d'exportation que si elle est embouteillée. Il n'est pas encore clair si la législation en vigueur autorise l'exportation d'eau en vrac ou d'eau courante.

La législation ou la réglementation provinciale range en général les utilisations de l'eau par ordre d'importance, les besoins ménagers et municipaux venant respectivement au premier et au deuxième rangs. Les utilisations ménagères sont généralement soustraites à la loi ou ne font pas l'objet de permis. Ceux qui utilisent de l'eau à d'autres fins sans permis ou à des fins non prévues par les permis s'exposent à des sanctions. La législation sur l'utilisation de l'eau prévoit aussi des dispositions qui permettent aux provinces d'annuler ou de suspendre des permis, de recueillir des renseignements et d'inspecter des installations.

En plus de satisfaire aux exigences de la législation sur les droits d'utilisation de l'eau, les gros projets hydrauliques tels que les projets d'irrigation et les barrages hydroélectriques doivent se conformer à d'autres exigences législatives fédérales et provinciales. Parmi les principaux textes législatifs fédéraux qui régissent le développement des ressources en eau et leur utilisation, citons la *Loi sur la pêche*, la *Loi sur la protection des eaux navigables*, la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* et la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (*voir* au chapitre 11 une description de ces lois). La plupart des provinces se sont dotées de lois, de règlements et de lignes directrices en matière d'environnement et de santé qui viennent compléter les exigences fédérales se rattachant à l'évaluation environnementale et à la lutte contre la pollution.

## Conclusion

Parmi les nombreux utilisateurs d'eau en milieu rural, c'est l'agriculture qui en consomme le plus. Étant donné que les productions végétales et animales sont tributaires de l'eau, l'agriculture rivalise avec les autres utilisateurs lorsque les ressources en eau sont limitées.

En raison de la croissance des collectivités urbaines et rurales et du secteur dans un grand nombre de régions et de l'importance grandissante que l'on attache à la gestion des ressources et à la protection de l'environnement, l'agriculture doit être considérée comme un utilisateur prudent de l'eau, c'est-à-dire un secteur qui utilise cette ressource avec efficacité en produisant peu de déchets et qui retourne l'eau dans son cycle dans un état convenant aux autres utilisateurs. Un grand nombre de facteurs motivent et soutiennent une telle utilisation, notamment la demande à la consommation de produits agricoles « écologiques », la conscience environnementale grandissante des agriculteurs, les technologies et les pratiques de gestion respectueuses de l'environnement ainsi que les politiques et la réglementation en matière d'environnement.

# 4. La qualité de l'eau

*D.B. Harker, P.A. Chambers, A.S. Crowe, G.L. Fairchild et E. Kienholz*

**Points saillants**

- La qualité de l'eau est l'une des grandes préoccupations environnementales des Canadiens. Or, il est difficile de définir en quoi elle consiste, car tout dépend de l'usage prévu de l'eau et de ce que la société considère comme étant un niveau de risque acceptable.

- Les normes de qualité de l'eau, telles que celles définies dans les Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, se fondent généralement sur des concentrations de certains produits chimiques. Toutefois, une méthode plus globale d'évaluer la qualité de l'eau consisterait à tenir compte de toutes les propriétés d'un plan d'eau, à savoir les propriétés tant physiques que chimiques et biologiques.

- L'agriculture contribue à la dégradation de la qualité de l'eau. Cependant, il est difficile de mesurer cette contribution et de mettre au jour les sources ponctuelles de pollution étant donné le coût élevé des moyens de contrôle que cela suppose, la variabilité saisonnière et spatiale du déplacement des contaminants et de l'écoulement de l'eau, le nombre et la diversité des exploitations et des pratiques agricoles, ainsi que les différences observées d'une région à l'autre quant à la topographie, aux types de sols et au climat.

- L'agriculture altère la qualité de l'eau notamment en exportant dans celle-ci des sédiments, des éléments nutritifs, des pesticides et des organismes pathogènes par ruissellement, par lessivage ou par drainage (par canalisations enterrées), ou encore par perte dans l'atmosphère. Les conditions du sol sont l'un des principaux facteurs qui influencent le mouvement de l'eau dans le paysage agricole. En outre, les pratiques de gestion agricole influent sur la santé des sols, et notamment sur la tendance des contaminants à s'y accumuler, pour ensuite être entraînés dans l'eau. Or, l'agriculture durable a pour objet d'assurer une utilisation de l'eau qui respecte les impératifs économiques tout en conservant les ressources en eau et en limitant les pollutions éventuelles.

- D'ailleurs, l'agriculture doit pouvoir disposer d'une eau de bonne qualité pour satisfaire à ses divers besoins. En effet, une eau de piètre qualité risque de nuire à la santé tant des cultures et du bétail que des familles d'agriculteurs, et d'abaisser la productivité agricole.

- Or, à l'échelle nationale, le contrôle de la qualité de l'eau a été abandonné en grande partie, et bon nombre des programmes provinciaux ont subi des compressions au cours des années 1990. L'évaluation de la qualité de l'eau doit donc se fonder sur les résultats de projets axés sur une région ou un bassin hydrographique particuliers, et souvent étayés par de simples études de cas ou recherches ponctuelles.

## Introduction

Au cours des quarante dernières années, on a assisté à une augmentation de la taille et de la productivité des exploitations agricoles canadiennes, ainsi qu'à une diminution de leur nombre. Cette transformation s'est opérée grâce à une mécanisation accrue, à l'utilisation d'engrais minéraux et de produits phytosanitaires (p. ex. herbicides, insecticides et fongicides), à la mise au point de nouvelles variétés améliorées et à l'adoption de pratiques agricoles innovatrices. Cependant, il s'avère que, avec le temps, certains de ces progrès ont compromis la santé de l'environnement, y compris la qualité de l'eau.

La qualité de l'eau constitue l'une des grandes préoccupations environnementales des Canadiens. En effet, ces derniers veulent avoir l'assurance que, au Canada, l'eau est sans danger pour la santé, pour les activités récréatives et pour l'industrie, et qu'elle possède les qualités voulues pour assurer le bon fonctionnement des écosystèmes. Dans les années 1960 et 1970, lorsqu'ont commencé à s'accumuler les preuves que l'emploi des *pesticides organochlorés* tels que le DDT posaient des risques pour la santé, la population a fait pression sur les décideurs agricoles pour qu'ils retirent ces produits du marché. Et aujourd'hui, le public canadien croit toujours que la qualité de l'eau doit être l'une des préoccupations majeures de l'agriculture, et qu'une politique et des programmes environnementaux s'imposent pour protéger les ressources en eau. La conservation de la qualité de l'eau représente également l'un des éléments essentiels de l'agriculture durable, et le maintien d'un juste équilibre entre la croissance de la production agricole et le respect de l'environnement tend à devenir une condition de réussite sur le marché mondial.

## Risque et qualité de l'eau

Pour ce qui concerne la qualité de l'eau, les évaluations du risque sont des estimations fondées sur des données scientifiques du risque qu'entraîne, pour une population (humaine ou autre) ou un écosystème, le fait d'être exposé à une substance particulière ou à un phénomène naturel particulier. Les divergences quant à ce qui constitue un risque acceptable se reflètent dans la façon d'interpréter les mêmes données sur la qualité de l'eau. Ainsi, il n'y a pas toujours unanimité sur ce à quoi correspond une qualité acceptable, même lorsqu'il est question de la même eau et du même usage prévu.

Par exemple, certains prônent la *tolérance zéro*, c'est-à-dire qu'ils considèrent une eau acceptable que si elle ne contient aucune trace de substances qui ne sont pas naturelles (p. ex. pesticides) ni aucune concentration élevée d'une substance naturelle (p. ex. azote, phosphore). D'autres soutiennent que les humains devraient pouvoir, à l'instar des autres êtres vivants, utiliser l'eau de façon responsable pour absorber et transporter des déchets ou des éléments nutritifs. Ils estiment qu'il est déraisonnable d'exiger la tolérance zéro et sont disposés à accepter une approche consistant à fixer des seuils en deçà desquels on considère que la vie humaine et la santé des écosystèmes sont exposés à un risque raisonnable. Pourtant d'autres prétendent qu'en adoptant cette attitude on fait fi des préoccupations quant aux *effets additifs* et *synergiques* possibles de contaminants multiples à l'état de traces, et qu'on s'en remet trop aux méthodes classiques plutôt qu'en chercher de nouvelles susceptibles de mieux parer au risque réel.

L'évaluation des risques est, au mieux, une science imprécise. Elle utilise de l'information sur le niveau d'exposition à une substance ainsi que sur la toxicité de celle-ci pour décrire ce qui risque d'arriver aux humains ou aux animaux qui y sont exposés. Une certaine confusion résulte souvent des incertitudes liées à cette évaluation sur le plan scientifique. Les gens acceptent les risques volontaires ou bien connus, mais s'insurgent contre les risques auxquels ils sont exposés indépendamment de leur volonté. Faute de données de terrain fiables, cohérentes et établies à une grande échelle (voir la discussion qui suit sur le contrôle de la qualité de l'eau), les experts ont recours de plus en plus souvent à des outils mathématiques tels que des formules et des modèles pour déterminer le risque.

C'est ainsi que l'on a mis au point des modèles qui simulent le mouvement et le sort des pesticides dans le sous-sol, et qui permettent de prédire leurs concentrations en fonction du temps et de la profondeur. Bien que ces outils soient utiles, les résultats peuvent rarement être utilisés pour affirmer avec certitude si des problèmes existent, à moins qu'ils soient validés à l'aide de données réelles. Ils peuvent toutefois servir aux fins suivantes :

- estimer les tendances en fonction du temps
- établir des comparaisons à l'échelle régionale
- mettre en relief les domaines où des études plus approfondies s'imposent
- remplir les exigences sans cesse croissantes des accords internationaux en matière de rapports sur le respect de l'environnement.

## Définition et mesure de la qualité de l'eau

Définir la qualité de l'eau est chose difficile. En règle générale, cela se fait en fonction de l'utilisation prévue. Ainsi, les normes s'appliquant à l'eau potable peuvent différer sensiblement de celles visant l'eau destinée à l'irrigation des cultures ou encore le milieu aquatique.

Les méthodes utilisées pour déterminer la qualité de l'eau relèvent souvent de la chimie. Parmi les indicateurs chimiques de la qualité de l'eau, mentionnons notamment les mesures de l'acidité, de

## Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement

Des recommandations pour la qualité de l'eau, des sédiments, du sol et des tissus ont été élaborées au Canada pour assurer la protection et la pérennité de certaines utilisations du sol, de l'eau et des biotes. Elles fournissent des mesures directes de la viabilité biologique pouvant servir à évaluer la qualité globale des ressources et la santé des écosystèmes. Élaborées par Environnement Canada sous l'égide du Conseil canadien des ministres de l'Environnement, les *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement* définissent les concentrations à ne pas dépasser pour éviter des effets préjudiciables à l'environnement. Elles comprennent les *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux*, concernant les concentrations de plusieurs substances dans l'eau potable brute (non traitée), l'eau utilisée à des fins récréatives, l'eau utilisée en agriculture et l'eau servant de milieu de vie aux organismes aquatiques. On y trouve aussi les lignes directrices émises par Santé Canada en matière d'eau potable traitée, intitulées *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Les Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement* - 1999, récemment parues, rassemblent quelque 550 lignes directrices relatives à plus de 200 substances et paramètres d'intérêt prioritaire au Canada.

Les *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux* sont utilisées par les organismes provinciaux, territoriaux et fédéraux pour évaluer les problèmes de qualité d'eau et pour gérer les utilisations concurrentes des ressources hydriques. Elles sont basées sur les meilleures données scientifiques existantes et périodiquement réévaluées à la lumière des éléments d'information nouveaux. Les priorités en matière de nouvelles recommandations à élaborer sont fixées chaque année, et les recommandations visant les pesticides d'intérêt prioritaire actuellement utilisés et d'autres paramètres nouveaux ayant trait à l'agriculture sont élaborées continuellement.

Concernant la qualité de l'eau, nous présentons ci-dessous les recommandations visant les concentrations de plusieurs substances couramment produites par les activités agricoles.

**Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux — concentrations de certaines substances**

| Substance | Recommandations pour la qualité de l'eau potable (Santé Canada) | Recommandations pour la qualité des eaux — protection de la vie aquatique (eau douce) | Recommandations pour la qualité de l'eau d'irrigation | Recommandations pour la qualité de l'eau d'abreuvement des animaux |
|---|---|---|---|---|
| Bactéries* ($n^{bre}$/100 mL) | | | | |
| Coliformes totaux | 10 | — | 1000 | — |
| Coliformes fécaux | 0 | — | 100 | — |
| Azote des nitrates (mg/L) | 0 | — | — | 100 (nitrate+nitrite) |
| Nitrite (mg/L) | — | 0,06 | — | 10 |
| Pesticides (mg/mL) | | | | |
| atrazine | 5 (P) | 1,8 | 10 | 5 |
| cyanazine | 10 (P) | 2,0 | 0,5 | 10 |
| diazinon | 20 | — | — | — |
| iclofop-méthyl | 9 | 6,1 | 0,18 | 9 |
| glyphosate | 280 (P) | 65 | — | 280 |
| métolachlore | 50 (P) | 78 | 28 | 50 |
| métribuzine | 80 (P) | 1,0 | 0,5 | 80 |
| simazine | 10 (P) | 1,0 | 0,5 | 10 |

* Recommandations microbiologiques simplifiées; voir les Recommandations pour plus de précisions.
(P) = Recommandation provisoire

Source : *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement,* Conseil canadien des ministres de l'Environnement, 1999

*R.A. Kent, Environnement Canada*

## Unités utilisées dans le présent rapport

**Généralités**

Dans le présent rapport, les concentrations de produits chimiques dans l'eau sont exprimées en masse par unité de volume, par exemple, en microgrammes ou en milligrammes de substance par litre d'eau. On exprime couramment aussi les concentrations en parties par million (une partie du produit chimique par million de parties de solution) ou en parties par milliard, soit :

1 milligramme par litre (1 mg/L) = 1 partie par million (ppm)

1 microgramme par litre (1µg/L) = 1 partie par milliard (partie par $10^9$).

Les concentrations moyennes sont souvent exprimées par une moyenne pondérée en fonction du débit, qui est la masse totale de substance, mesurée sur une période donnée, divisée par le volume total d'eau qui s'est écoulée durant cette période. La quantité d'une substance qui est exportée d'un champ agricole ou d'un bassin versant peut être exprimée en masse par unité de surface, par exemple, en grammes, en kilos ou en tonnes par hectare.

On désigne par *charge* la quantité d'une substance qui est exportée d'un champ ou d'un bassin versant durant une certaine période. La charge est exprimée en unités telles que grammes par an, ou kilos par hectare par an.

**Nitrate**

Le terme nitrate utilisé dans le présent rapport pour définir la qualité de l'eau désigne la concentration d'azote (N) présent sous la forme de nitrates ($NO_3^-$), qui est également exprimée comme la concentration de l'azote nitrique ($NO_3^-$–N). Dans les normes européennes de qualité de l'eau, le terme nitrate désigne la concentration totale en ions nitrate ($NO_3^-$). Étant donné que l'ion nitrate a une masse atomique plus élevée que l'azote seul, la norme européenne de 50 milligrammes d'ions $NO_3^-$ par litre d'eau équivaut approximativement à la norme nord américaine de 10 milligrammes d'azote nitrique ($NO_3^-$–N) par litre d'eau.

la salinité, des diverses formes de l'oxygène, du phosphore, de l'azote, des pesticides et des métaux lourds. Les *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement* se fondent pour une large part sur ce type d'approche pour établir ce à quoi correspond une qualité acceptable selon qu'il s'agit d'eau potable, d'eau utilisée à des fins récréatives, d'eau d'irrigation ou d'eau destinée à d'autres usages (*voir* l'encadré, p. 31). Toutefois, les principaux critères servant à évaluer la qualité de l'eau potable et de l'eau utilisée à des fins récréatives sont les recommandations en matière de microbiologie que l'on trouve dans la publication de Santé Canada s'intitulant *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada*. Les concentrations précisées dans ce document prévoient habituellement une marge de sécurité de l'ordre de 10 à 1000 fois les résultats d'analyse obtenus. En général, il n'existe donc pas une limite absolue entre ce qui constitue une eau de bonne ou de mauvaise qualité.

Certains considèrent que les recommandations canadiennes et d'autres du même genre sont trop laxistes et préfèrent adhérer au *principe de précaution*, selon lequel, lorsqu'une activité pose un risque pour l'environnement ou pour la santé humaine, des mesures de précaution doivent être prises peu importe que l'on ait ou non effectué des recherches scientifiques suffisantes pour en justifier l'application. Cette façon de voir se traduit par des lignes directrices plus strictes telles que celles figurant dans la *Directive de la Commission européenne sur l'eau potable* (1980). Ce document prescrit les concentrations maximales admissibles suivantes :

- 0,1 microgramme par litre pour un pesticide quelconque (Les recommandations canadiennes comprennent des valeurs variant de 5 microgrammes par litre d'atrazine à 280 microgrammes par litre de glyphosate)
- 0,5 microgramme par litre pour tous les pesticides combinés (les recommandations canadiennes ne prévoient pas de concentration maximale pour les pesticides combinés)
- 50 milligrammes par litre pour l'ion nitrate (ce qui équivaut à 11 milligrammes par litre d'azote des nitrates, une concentration très voisine de celle donnée dans les recommandations canadiennes, soit 10 milligrammes par litre d'azote des nitrates)
- 5000 microgrammes par litre pour le phosphore (les recommandations canadiennes ne fixent pas de limite). (*voir* l'encadré, p. 31)

Les indicateurs chimiques ne représentent cependant qu'un des moyens d'évaluer la qualité de l'eau. D'ailleurs, on est de plus en plus conscient de la nécessité d'aborder l'évaluation de la qualité de l'eau d'une façon plus globale, soit en examinant toutes les propriétés d'un plan d'eau, tant physiques et chimiques que biologiques et écologiques (fig. 4-1). Par exemple, la détermination de la santé de la communauté biologique qui vit dans un plan d'eau peut constituer une mesure indirecte de la chimie de l'eau.

Les indicateurs biologiques peuvent refléter les effets combinés de polluants, de changements survenus dans l'habitat et d'autres répercussions écologiques que ne peut révéler le seul contrôle des propriétés chimiques et physiques. Voici quelques indicateurs biologiques de la qualité de l'eau :

- les *espèces indicatrices* aquatiques (p. ex. examen de la santé des espèces sensibles)

- la *biodiversité* (p. ex. le nombre d'espèces et le nombre d'individus de chaque espèce)
- la *diversité fonctionnelle* (ex. : détermination de toute la gamme des espèces qui exécutent différentes fonctions dans l'écosystème, telles que se nourrir d'algues et de bactéries, se nourrir de proies, etc.)
- les propriétés de l'écosystème (p. ex. *production primaire et décomposition*).

La santé humaine est un autre facteur dont il faut tenir compte dans l'évaluation de la qualité de l'eau. Par exemple, de vastes études démographiques pourraient jeter de la lumière sur les effets synergiques ou additifs possibles sur la santé humaine. Puis, des études menées en fonction de l'âge pourraient révéler que des personnes ayant atteint un certain stade de vie sont plus sensibles que d'autres aux effets de l'eau contaminée ou sont plus susceptibles de manifester de tels effets. Cependant, ces études supposent souvent des analyses très complexes, et les effets de bon nombre d'interactions chimiques ne sont pas encore très bien comprises.

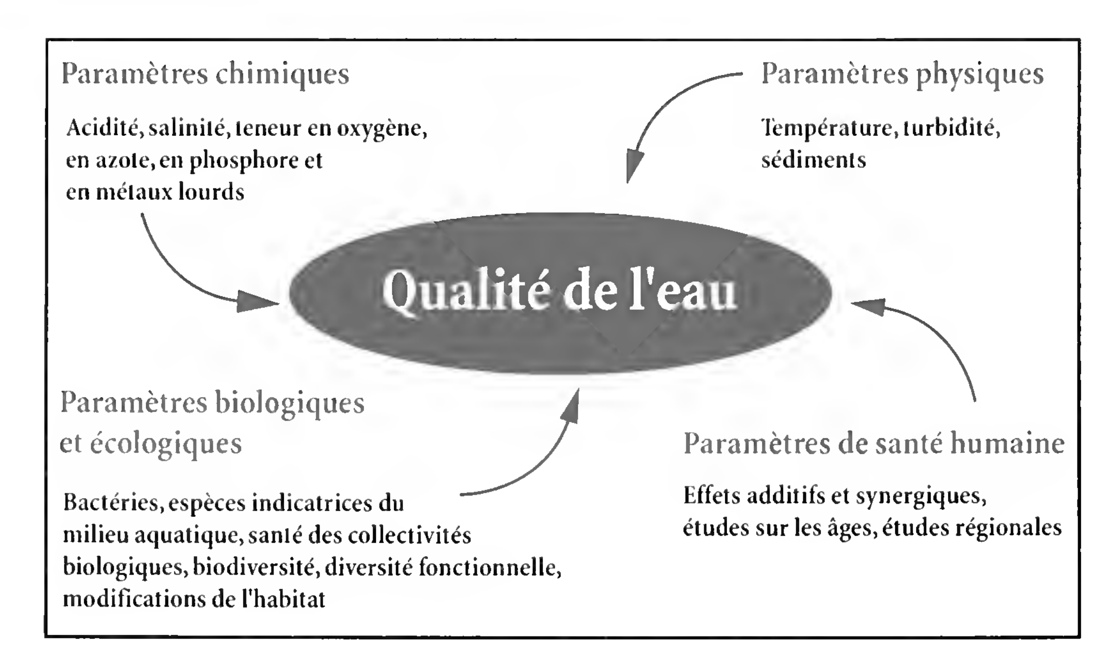



**Figure 4-1**
**Approche hollistique à l'évaluation de la qualité de l'eau**

## Contrôle de la qualité de l'eau

Dans les années 1970, pour contenter le public qui réclamait une eau de meilleure qualité, des organismes fédéraux et provinciaux ont mis sur pied des programmes de contrôle comportant l'échantillonnage et l'analyse périodiques des eaux souterraines et superficielles. L'analyse portait généralement sur les sédiments, les éléments nutritifs (notamment les nitrates, l'ammonium et le phosphate), les principaux ions et métaux, et parfois sur les pesticides et les bactéries. Les activités de contrôle étaient en outre axées sur l'évaluation des effets des contaminants sur les poissons et la faune.

Les résultats de ces programmes servent de base à des décisions de gestion se rapportant à la qualité de l'eau, car elles fournissent les données nécessaires sur la nature et la distribution des problèmes de pollution de l'eau. Des séries chronologiques de données fiables peuvent servir aux fins suivantes :
- évaluer la santé des écosystèmes aquatiques
- tenir lieu d'outil d'alerte et de détection rapides
- évaluer la performance des programmes de lutte contre la pollution.

Vu l'insuffisance des données de contrôle et des connaissances sur les bassins hydrographiques et les cours d'eau, les scientifiques et les gestionnaires en sont réduits à émettre des hypothèses au sujet des problèmes de qualité de l'eau, de leurs causes probables, de leurs conséquences éventuelles et de l'efficacité des mesures de gestion prises pour les prévenir ou les corriger.

Les activités de contrôle sont souvent adaptées à des besoins particuliers, à la région faisant l'objet du contrôle ainsi qu'aux contraintes financières et temporelles. Le *contrôle de reconnaissance* comprend habituellement l'échantillonnage périodique des eaux sur une vaste étendue et sur une longue période, et l'analyse d'un grand nombre de paramètres relatifs à la qualité de l'eau. Il est utile pour identifier les changements considérés comme négatifs qui se sont opérés au fil des ans. Le *contrôle objectif* est exercé pour répondre à un problème connu et vise habituellement des produits chimiques particuliers. L'échantillonnage porte sur une petite étendue et une plus courte période.

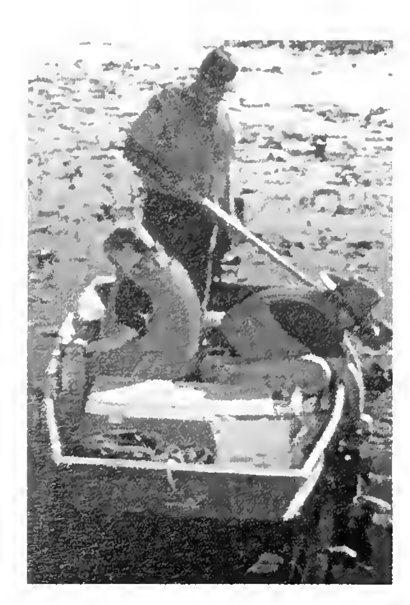
Les coûts que supposent le contrôle sont assez élevés, et se répartissent selon les postes suivants :
- conception et gestion de réseau

**Coûts actuels approximatifs des analyses d'eau**

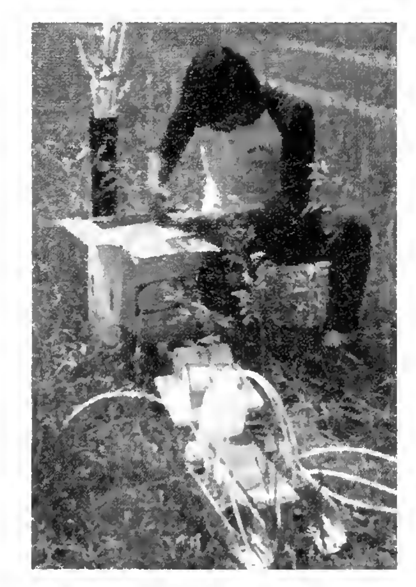
| Substance dosée | Coût par analyse |
|---|---|
| Éléments nutritifs ($NO_3$+$NO_2$, $NH_4$) | 5,60 $ |
| Éléments nutritifs (total – $P_2O_4$) | 4,90 $ |
| Bactéries(coliformes fécaux, *E. coli*) | 15,00 $ |
| Pesticides (organochlorés) | 287,00 $ |

*A. Crowe, Environment Canada*





*Prélèvement d'échantillons d'eau de surface*



*Prélèvement d'échantillons d'eau souterraine*

- achat de matériel d'échantillonnage (p. ex. pompes et bouteilles)
- utilisation de bateaux pour l'échantillonnage des eaux de surface
- installation de puits pour l'échantillonnage des eaux souterraines
- préparation, transport et stockage des échantillons
- analyses de laboratoire (*voir* l'encadré, p. 33)
- rémunération et formation du personnel spécialisé
- traitement des données
- interprétation des résultats et établissement de rapports.

Au cours des dernières années, la plupart des organismes fédéraux et provinciaux ont coupé dans leurs programmes courants de contrôle de reconnaissance. Aujourd'hui, les programmes de contrôle sont habituellement axés sur des problèmes particuliers dans des lieux particuliers, en réponse à des préoccupations du public au sujet de problèmes réels ou perçus. À l'heure actuelle, les gouvernements fédéral et provinciaux subventionnent les activités de contrôle aux échelons régional et local. Certaines municipalités contrôlent les eaux de surface et les puits, habituellement avec le concours des services de santé locaux. En outre, bon nombre d'industries sont tenues de contrôler la qualité de l'eau en application des conditions de leur permis d'exploitation. Enfin, de nombreux programmes de contrôle sont en train de voir le jour, fruits de partenariats entre divers intervenants, dont des universités, des municipalités, des groupements agricoles, des industriels, des groupements de défense de l'intérêt public et des organismes gouvernementaux, en vue d'assurer un partage des coûts et une meilleure utilisation des résultats.

## Contrôle national

La Division des relevés hydrologiques du Canada a été créée en 1908 pour recueillir, analyser et distribuer des données sur les ressources en eau, y compris le débit des rivières et des ruisseaux et les niveaux d'eau des lacs et des rivières. Le gouvernement fédéral a commencé à s'occuper du contrôle de la qualité de l'eau en 1934, et il mettait alors l'accent sur l'eau utilisée par les municipalités et par l'industrie. Puis, dans les années 1960, l'intérêt croissant des Canadiens pour les questions environnementales a donné lieu à l'établissement d'un réseau national de contrôle de la qualité de l'eau pour évaluer l'impact de l'activité humaine sur les rivières et les lacs, non seulement dans les régions agricoles, mais à la grandeur du pays. Les données recueillies ont été introduites par Environnement Canada dans la Base nationale des données sur la qualité des eaux (NAQUADAT), afin de fournir une vue d'ensemble de la qualité des eaux de surface canadiennes, devant servir avec les recommandations nationales relatives à la qualité de l'eau à établir les objectifs en matière de qualité pour les lacs et rivières.

Le fédéral, par l'entremise d'Environnement Canada, contrôle la qualité des eaux de surface en vertu de la *Loi sur les ressources en eau du Canada* et de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Depuis la fin des années 1970, cependant, Environnement Canada joue un rôle plus discret dans ce domaine, les programmes qui demeurent en vigueur étant axés sur

- les eaux frontalières et transfrontalières, y compris les Grands Lacs et leurs voies interlacustres (p. ex. rivières Niagara, Détroit et Sainte-Claire)
- les principales rivières traversant les frontières des Provinces des Prairies (p. ex. rivières Saskatchewan Sud et Nord)
- les dossiers qui satisfont aux exigences de la législation fédérale pertinente et s'inscrivent dans le mandat, les priorités scientifiques et les initiatives (portant sur les écosystèmes) d'Environnement Canada (p. ex. : ceux qui servent à appuyer les lois fédérales relatives à la pêche, à l'industrie des pâtes et papier et aux mines, ou les projets portant sur les écosystèmes dans le bassin des Grands Lacs, le bassin du fleuve St-Laurent, le bassin du fleuve Fraser, les provinces de l'Atlantique, et le Nord).

Les gouvernements provinciaux ont pris en main le contrôle de la qualité de l'eau des rivières et des lacs intérieurs dans des régions qui les intéressent. Il s'ensuit que la couverture nationale est incomplète et manque d'uniformité. À l'heure actuelle, il n'existe, au Canada, aucun organisme unique chargé de la mise en oeuvre d'un programme national de contrôle de la qualité de l'eau.

En général, le fédéral ne met en oeuvre aucun programme visant à assurer l'évaluation courante de la qualité des eaux souterraines, cette ressource relevant de la compétence provinciale. Toutefois, il s'intéresse aux questions touchant les eaux souterraines lorsqu'elles relèvent de sa compétence ou lorsqu'il y va de son intérêt, notamment lorsque la contamination de ces eaux menace de s'étendre au-delà des frontières du pays (p. ex. l'aquifère Abbotsford–Sumas en Colombie Britannique; (*voir* l'encadré, p. 69.) Dans de tels cas, les bureaux régionaux d'Environnement Canada, avec le

## Programmes provinciaux et locaux de contrôle de la qualité de l'eau au Canada

Les exemples suivants ne donnent qu'un aperçu des multiples activités de contrôle de la qualité de l'eau qui sont menées dans tout le pays par les gouvernements provinciaux et les administrations locales, les agences de bassins et les universités. Ils ont été choisis pour donner au lecteur une idée de l'importance des différents programmes de contrôle.

***Colombie-Britannique***

Des organismes provinciaux collaborent avec Environnement Canada et des organismes des États-Unis à l'administration d'un programme de contrôle de l'aquifère transfrontalier d'Abbotsford–Sumas qui s'étend au sud de la Colombie-Britannique. Un réseau de 40 puits est contrôlé tous les mois depuis la fin des années 1970. L'analyse porte sur les concentrations de nitrates dans l'eau souterraine, mais des échantillons sont également analysés, à l'occasion, pour y doser des pesticides. En raison des contraintes budgétaires des dernières années, le nombre de puits contrôlés et la fréquence de prélèvement des échantillons ont diminué.

***Provinces des Prairies***

De 1994 à 1997, *l'Entente Canada–Alberta pour un environnement durable en agriculture* a permis le financement fédéral et provincial de contrôles visant à mesurer l'incidence de l'agriculture sur la qualité de l'eau en Alberta. Les contrôles ont porté sur les éléments nutritifs, les pesticides et les bactéries dans les puits, les étangs artificiels, les cours d'eau et les lacs. Ils ont été réalisés par des chercheurs des gouvernements fédéral et provinciaux, du secteur privé et des universités. Ils se poursuivent dans le cadre d'autres programmes.

***Centre du Canada***

L'Ontario administre 200 stations de contrôle de la qualité de l'eau des cours d'eau. Ces stations étaient au nombre de 2 700 dans les années 1970. Des échantillons d'eau sont actuellement prélevés huit fois par an et les principaux ions, dont le nitrate, y sont analysés,. L'analyse des pesticides n'est pas faite régulièrement. Un sous-ensemble de ce réseau de contrôle vise cinq bassins versants : ceux des rivières Grand, Thames, Saugeen, Humber et Don. Ces bassins font l'objet d'un contrôle plus poussé, comprenant l'analyse des pesticides dans des échantillons d'eau de surface. Les organismes provinciaux ne publient pas de données ni d'évaluations sur les tendances à long terme.

Le Québec est une des rares provinces à avoir maintenu depuis la fin des années 1970 son programme de contrôle à long terme, appliqué toute l'année, dans un réseau de stations de contrôle de la qualité de l'eau. Des rapports détaillés sur la qualité de l'eau et l'utilisation des terres sont publiés.

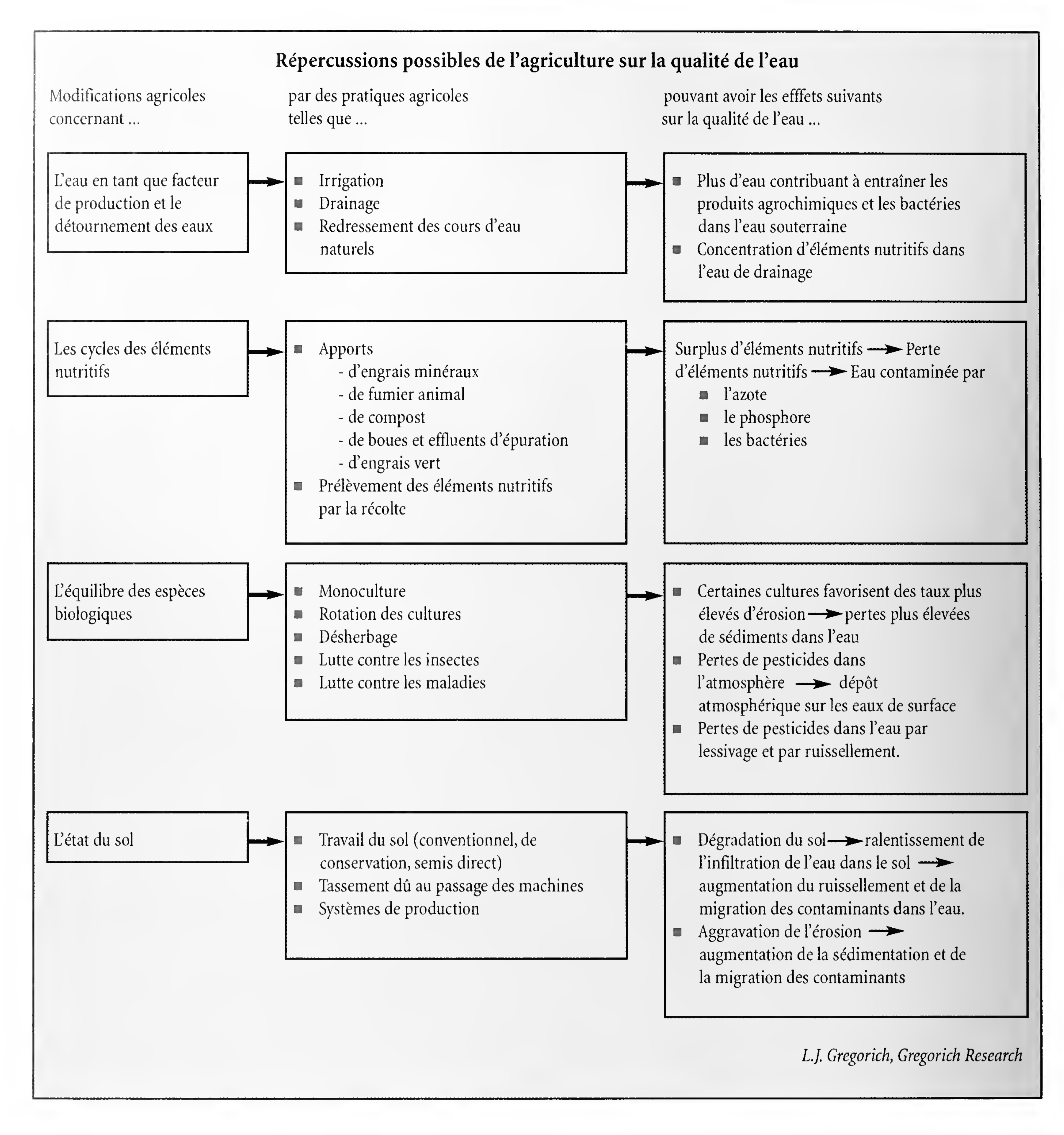
***Provinces de l'Atlantique***

Le ministère de l'Environnement de l'Île-du-Prince-Édouard a réalisé pendant 3 ans (1996-1998) un programme de contrôle en trois volets :

- échantillonnage régulier de 30 puits situés dans des zones d'agriculture intensive, visant les pesticides
- échantillonnage régulier de 30 puits situés un peu partout dans la province dans des zones à vocations différentes (agricole, résidentielle, industrielle, urbaine), pour évaluer l'état de la qualité de l'eau souterraine.
- échantillonnage régulier de puits creusés par le ministère pour mesurer la persistance des pesticides cibles et en suivre la migration; ces puits ont été aménagés dans des champs où un pesticide connu a été épandu, pour évaluer les risques que ces pesticides contaminent l'eau souterraine sur le terrain.

Le programme devrait être élargi et étendu à différents pesticides. (Les pesticides lixiviables visés par le premier programme n'ayant pas été détectés, le nouveau programme visera les pesticides, surtout les fongicides, qui sont utilisés en plus grandes quantités.)

*H. Liebscher, Environnement Canada*
*D.O. Trew, Alberta Environment*
*G.S. Bowen, ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario*
*J. Painchaud, ministère de l'Environnement du Québec*
*J.P. Mutch, ministère de la Technologie et de l'Environnement de l'Île-du-Prince-Édouard*




concours d'organismes gouvernementaux provinciaux, procèdent au contrôle des eaux souterraines en des lieux déterminés. Enfin, la Commission géologique du Canada, au sein de Ressources naturelles Canada, participe à des recherches sur les eaux souterraines et au contrôle de la qualité de ces eaux dans plusieurs régions du Canada.

## Contrôle exercé aux paliers provincial et local

La plupart des provinces et certaines organisations locales s'occupent de contrôler la qualité de l'eau et les débits des cours d'eau dans les régions rurales. Quelques exemples d'activités récentes sont cités ci-après (*voir* l'encadré, p. 35).

## Effets de l'agriculture sur la qualité de l'eau

L'agriculture modifie le fonctionnement naturel de l'écosystème afin d'optimiser la production d'aliments et de fibres. À mesure que s'opèrent ces changements, le milieu environnant est exposé à en subir les effets négatifs, par exemple : la dégradation de la qualité de l'eau dans les plans d'eau récepteurs ou situés en aval (*voir* l'encadré, p. 36). Mais les facteurs suivants concourent à rendre plus complexe l'évaluation de ces effets, notamment sur la qualité de l'eau :

- la difficulté d'établir que les produits chimiques proviennent d'une source non ponctuelle telles que des terres agricoles
- les coûts élevés que supposent le contrôle de la qualité
- la multitude et la diversité des exploitations agricoles, des types de sol et des pratiques agricoles
- l'intervalle de temps qui s'écoule entre le moment où la substance est appliquée sur le sol et celui où les effets sur l'environnement deviennent apparents.

Même si ces facteurs font en sorte qu'il est difficile de dégager un consensus sur les effets véritables de l'agriculture sur la qualité de l'eau, nous savons que les principaux agents d'origine agricole qui polluent les eaux sont les particules de sol, les éléments fertilisants, les pesticides et les bactéries. L'évaluation de la qualité de l'eau dont il est question dans le présent rapport concerne ces substances. Comment et dans quelle mesure elles migrent vers les eaux superficielles et souterraines dépend en grande partie des pratiques agricoles, qui influent sur l'écoulement de l'eau dans le paysage agricole (irrigation et drainage), et sur les conditions du sol (techniques de travail du sol et autres pratiques culturales).

### Conditions du sol

La nature des sols agricoles est l'un des principaux facteurs qui déterminent la quantité d'eau qui migre des terres agricoles et de quelle façon cette migration se produit. En effet, la capacité des sols à absorber et à retenir l'eau est fonction de leurs propriétés naturelles. Ainsi, l'eau *s'infiltre* rapidement dans les sols sableux à texture grossière, mais n'y est pas retenue. En revanche, les sols à texture fine tels que les argiles sont moins *perméables* à l'eau, mais affichent habituellement une bonne capacité de rétention de l'eau.

Les pratiques agricoles ont aussi une influence sur les liens qui existent entre le sol et la qualité de l'eau. Ainsi, certaines pratiques culturales peuvent dégrader le sol, le rendant moins perméable à l'eau et plus vulnérable à l'érosion, ce qui peut contribuer à abaisser la qualité de l'eau. D'autres, au contraire, peuvent maintenir ou améliorer la qualité du sol, et aider à réduire les incidences de l'agriculture sur la qualité des eaux en aval. Aussi les pratiques agricoles mises en place pour limiter la détérioration de la qualité de l'eau sont-elles souvent axées sur la gestion des sols (*voir* le chapitre 8).

### Sédiments

En règle générale, les sédiments sont des particules de sol qui se retrouvent dans l'eau par le fait de l'érosion. Et l'érosion est le phénomène par lequel des particules de sol sont entraînées au loin. Elle survient naturellement, mais l'agriculture peut l'aggraver de diverses façons, soit

- en éliminant la végétation naturelle qui retient le sol et en la remplaçant par des plantes cultivées, qui laissent davantage le sol à nu
- en modifiant la structure du sol de façon à réduire sa capacité d'absorber de l'eau et à le rendre plus vulnérable à l'érosion.

Les particules de sol qui sont entraînées dans les plans ou les cours d'eau peuvent en altérer la qualité de façon significative. Trois types d'érosion peuvent être en cause :

- *l'érosion éolienne* : des particules de sol sont emportées par le vent et retombent souvent à la surface des plans ou des cours d'eau
- *l'érosion causée par le travail du sol* : le travail du sol provoque souvent un déplacement du sol vers les parties plus basses, où il est davantage exposé à l'érosion hydrique
- *l'érosion hydrique* : le type d'érosion qui contribue le plus à l'altération de la qualité de l'eau. Les eaux de ruissellement entraînent des particules de sol, surtout les plus fines, et les transportent vers les cours d'eau.

Une grande partie des particules de terre qui sont transportées dans les eaux superficielles y demeurent en suspension (*sédiments en suspension*), et ont un effet sur la *turbidité* de l'eau. La couleur brun trouble des rivières observée à la fonte des neiges ou après une pluie abondante, fournit une image saisissante de l'importance de la charge solide des eaux de surface. Après de tels phénomènes météorologiques, la turbidité des lacs, des rivières et des ruisseaux peut atteindre des niveaux qui



*Dépôt solide d'une rivière*

## Bilan azoté des pays de l'OCDE

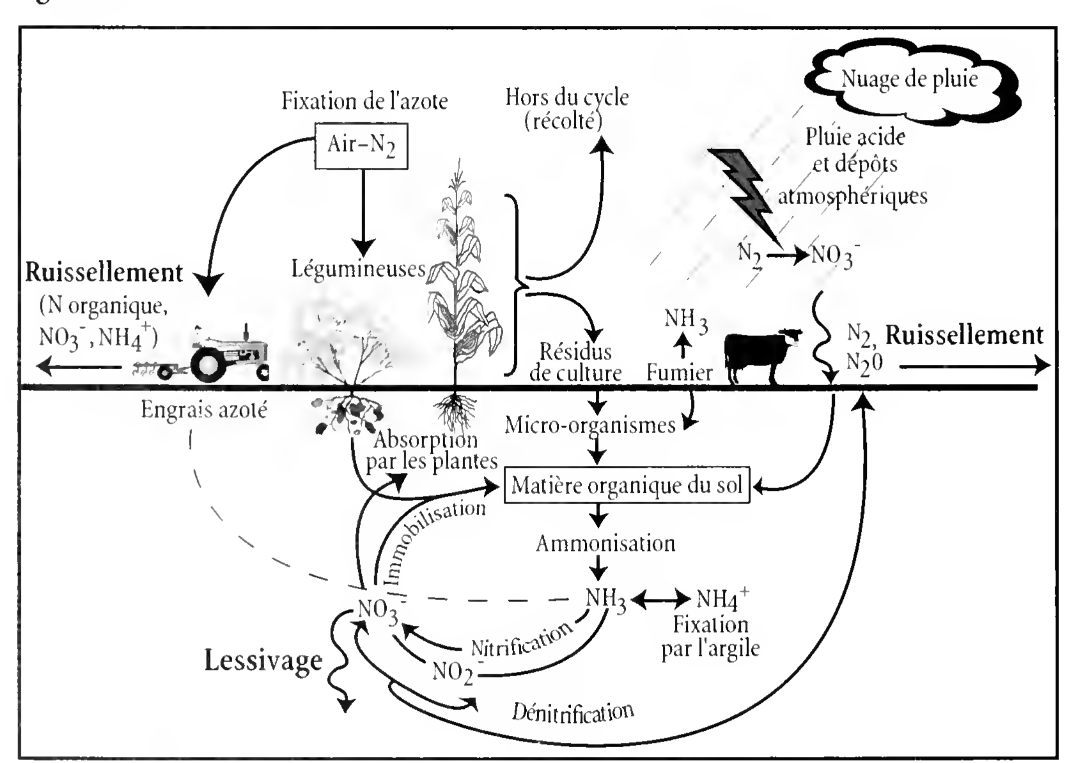
La différence entre la quantité d'azote épandue sur un champ et la quantité d'azote prélevée par les cultures peut être un excédent ou un déficit. En cas d'excédent, l'azote peut se retrouver dans l'environnement. Selon les données recueillies par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), les excédents d'azote des pays de l'OCDE sont globalement en diminution. Ce n'est pas le cas du Canada, où la production de cultures très exigeantes en azote est en augmentation et où l'essor de l'élevage engendre une production croissante d'azote dans les fumiers. Par contre, la moyenne des excédents d'azote au Canada est encore faible comparativement à celle des États-Unis et de l'Europe, comme le montre le tableau suivant.

**Excédent d'azote moyen dans certains pays de l'OCDE (kilogrammes par hectare par an)**

| Pays | 1985–1987 | 1995–1997 | Variation en pourcentage |
|---|---|---|---|
| Canada | 7 | 14 | 113 |
| Danemark | 154 | 119 | -23 |
| France | 59 | 53 | -10 |
| Japon | 98 | 89 | - 9 |
| Nouvelle-Zélande | 5 | 6 | 27 |
| États-Unis | 25 | 31 | 24 |

*Source : McRae et al., 2000*

**Figure 4-2**
**Cycle de l'azote en agriculture**




compromettent la potabilité de l'eau et rendent ces milieux moins propices aux plantes et aux animaux aquatiques.

Les sédiments qui s'accumulent au fond des ruisseaux peuvent affecter le *volume de débordement*, augmentant le risque d'inondation. Ils peuvent également

- diminuer la capacité de stockage des réservoirs et des étangs artificiels
- réduire la profondeur d'eau dans les terres humides
- dégrader les frayères de certaines espèces de poisson.

Les eaux de ruissellement arrachent et entraînent des particules de sol porteuses d'engrais minéraux, de pesticides, de résidus culturaux, de fumier animal, voire d'organismes pathogènes, qui ajoutent à la pollution des eaux en aval. L'érosion du sol et la sédimentation qui en résulte sont donc des facteurs importants dont il faut tenir compte dans l'examen de la qualité de l'eau et dans la protection de cette ressource.

Pour contrer la forme de pollution que l'on vient de décrire, il suffit pour une large part de lutter contre l'érosion du sol. Une récente évaluation de l'évolution du risque d'érosion pendant la période allant de 1981 à 1996 démontre que

- le risque d'érosion hydrique a diminué à divers degrés sur les terres arables des provinces des Prairies, de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick (fig. 5-1)
- le risque d'érosion éolienne sur les surfaces cultivables des Prairies a chuté de 30 %
- le risque d'érosion due au travail du sol sur les terres cultivables canadiennes a baissé de 22 %.

Ces résultats donnent à penser que la quantité de sédiments qui a été transportée des terres agricoles dans les eaux de surface a diminué, bien que pas nécessairement dans les mêmes proportions, compte tenu des différences notoires observées d'une région à l'autre du pays quant à l'importance relative des diverses formes d'érosion.

## Éléments nutritifs

Les éléments nutritifs sont des éléments chimiques, tels que l'azote, le phosphore et le potassium, dont les plantes ont besoin pour croître. Ils sont présents naturellement dans l'environnement et rendus accessibles à la végétation par les précipitations, par la désintégration mécanique et chimique des roches et des minéraux du sol et par la décomposition de la matière organique (ex. : plantes et animaux morts).

## Azote résiduel

L'*azote résiduel* est la quantité d'azote du sol qui excède les besoins des cultures ou leur capacité d'assimilation. Cet azote excédentaire est susceptible d'être emporté par ruissellement dans les cours et plans d'eau avoisinants, de s'infiltrer jusqu'aux eaux souterraines ou d'être collecté par le réseau de drainage souterrain. On a récemment dressé un état des lieux national concernant l'azote résiduel. Il a permis de classer les terres agricoles du Canada dans les quatre catégories suivantes :

Catégorie 1 : < 21 kilos d'azote résiduel par hectare (minime)
Catégorie 2 : 21 à 40 kg N/ha (en principe, dans les zones d'agriculture intensive où l'on sème des cultures qui demandent peu d'azote, telles les céréales)
Catégorie 3 : 41 à 60 kg N/ha (en principe dans les zones d'agriculture intensive où l'on produit des cultures qui demandent peu d'azote, tel le maïs)
Catégorie 4 : > 60 kg N/ha.

Dans les terres agricoles des catégories 3 et 4, il y a risque d'accumulation d'azote et d'exportation de cet azote dans les eaux superficielles et souterraines.

Des résultats révèlent des concentrations élevées d'azote résiduel (catégorie 4, dans les zones nécessitant beaucoup d'azote et catégorie 3, dans les zones en nécessitant peu) dans les régions suivantes : la vallée inférieure du Fraser en Colombie-Britannique, le ruban de terres agricoles allant de Lethbridge à Edmonton, en passant par Red Deer, en Alberta; la région de Melfort dans le Nord-Est de la Saskatchewan; la vallée de la rivière Rouge au Manitoba; le Sud-Ouest de l'Ontario, la région située autour du lac Simcoe, et la vallée du Bas-Outaouais; les basses-terres du Saint-Laurent au Québec et la région située au sud de Québec, la vallée de l'Annapolis en Nouvelle-Écosse; et la vallée de la rivière Saint-Jean au Nouveau-Brunswick. De 1981 à 1996, on constate une forte tendance à l'augmentation des teneurs en azote résiduel dans toutes les provinces sauf en Colombie-Britannique. Entre ces deux dates, la part des terres arables où l'on a observé une augmentation des teneurs en azote résiduel d'au moins 5 kilos par hectare allait de 27 % en Colombie-Britannique à 80 % au Manitoba

**Teneurs en azote résiduel dans les terres agricoles du Canada en 1996**

| Province | Superficie des terres agricoles* (million d'ha) | Part (%) des terres agricoles dans les différentes catégories en fonction de l'azote résiduel estimatif | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Catégorie 1 <21 kg/ha | Catégorie 2 21–40 kg/ha | Catégorie 3 41–60 kg/ha | Catégorie 4 > 60 kg/ha |
| Colombie-Britannique | 1,5 | 70 | 19 | 3 | 9 |
| Alberta | 17,7 | 38 | 50 | 12 | <1 |
| Saskatchewan | 23,0 | 31 | 61 | 8 | <1 |
| Manitoba | 6,7 | 18 | 51 | 27 | 5 |
| Ontario | 4,2 | 26 | 22 | 15 | 37 |
| Québec | 2,0 | 41 | 20 | 12 | 28 |
| Prov. de l'Atlantique | 0,5 | 52 | 33 | 12 | 4 |

* Ici la superficie des terres agricoles est la somme des terres de toutes catégories recensées par le *Recensement de l'agriculture*, à l'exception de la catégorie « Autres terres ».

*Source: McRae et al., 2000*



*Eutrophisation d'un fossé de drainage*

### Modulateurs endocriniens

La présence dans l'environnement de produits chimiques ayant la propriété de perturber le système endocrinien commence à poser un problème international de première importance. Des études scientifiques réalisées au Canada et partout sur la planète ont montré que la croissance, la reproduction et le développement de nombreuses espèces d'invertébrés, de poissons, de reptiles, d'oiseaux et de mammifères peuvent être altérés par des produits chimiques qui interfèrent avec les systèmes endocriniens.

Le système endocrinien est un mécanisme complexe qui coordonne et régularise la communication interne entre les cellules spécialisées de diverses parties de l'organisme. Les glandes endocrines des poissons, des invertébrés, des oiseaux et des mammifères sécrètent des hormones qui agissent comme des messagers chimiques et qui déclenchent des fonctions biologiques tels la croissance, le développement de l'embryon et la reproduction. Les produits chimiques perturbateurs du système endocrinien ont la faculté de modifier ou de perturber les systèmes endocriniens et donc d'altérer ces fonctions biologiques.

Parmi les produits dont on connaît ou soupçonne l'effet sur le système endocrinien se trouvent des produits chimiques industriels tels que la dioxine et les PCB, un certain nombre de pesticides aujourd'hui interdits, comme le DDT et le chlordane, et certains autres produits chimiques synthétiques, y compris certains agents entrant dans la formulation des pesticides et des produits chimiques épandus sur les terres dans les boues d'épuration. Des hormones naturelles, comme les oestrogènes, sont excrétées dans les fumiers animaux et peuvent également perturber les systèmes endocriniens si elles sont entraînées dans les eaux de surface et y atteignent de fortes concentrations.

Le secteur agricole apparaît comme une source possible des modulateurs présents dans l'environnement, à cause de l'emploi des pesticides, de l'épandage des boues d'épuration sur les terres et du rejet de modulateurs naturels dans les effluents des élevages (p. ex. fumier de truies et de volailles). La Commission mixte internationale a constaté que l'emploi à haut volume de pesticides — dont certains seraient des modulateurs — dans le bassin des Grands lacs mérite de faire l'objet de recherches complémentaires. Agriculture et Agroalimentaire Canada et Environnement Canada effectuent actuellement des recherches pour déterminer si les exploitations agricoles sont une source importante de modulateurs environnementaux et, si nécessaire, pour mettre au point des techniques d'atténuation et de meilleures pratiques de gestion pouvant être adoptées par les agriculteurs.

*E. Topp, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

Leur présence peut également résulter de l'activité humaine, en particulier l'agriculture, l'évacuation des déchets industriels et municipaux et les émissions atmosphériques. L'apport d'éléments nutritifs est souvent considérée comme la plus grave menace à la qualité de l'eau posée par l'agriculture.

Pour maintenir un rendement élevé et une bonne qualité de leurs cultures, les agriculteurs ont pendant des années ajouté des éléments nutritifs au sol, principalement par l'application de fumier animal, de déchets végétaux et animaux, d'engrais minéraux, et par l'enfouissement de légumineuses. Environ 3,5 millions de tonnes d'engrais minéraux et 2 millions de tonnes de boues d'épuration sont épandues sur les terres agricoles chaque année. En outre, au Canada, les élevages de bétail produisent annuellement quelque 300 millions de tonnes de fumier, dont la majeure partie est utilisée pour la fertilisation. Toutefois, compte tenu des vastes superficies en culture au pays (plus de 30 millions d'hectares), ces quantités sont relativement faibles par rapport à ce que l'on observe dans d'autres pays, en particulier en Europe (*voir* l'encadré, p. 38).

Les éléments nutritifs présents dans le sol (ex. azote, fig. 4-2) peuvent

- être prélevés par les cultures et évacués des terres agricoles, lorsque celles-ci sont récoltées
- demeurer fixés aux particules de sol, à la matière organique ou aux résidus culturaux, pour ensuite être utilisés par les micro-organismes du sol ou les cultures suivantes, ou encore être entraînés par l'érosion
- être dissous dans l'eau et entraînés par lessivage, drainage ou ruissellement.

Lorsque la quantité de chaque élément nutritif présent dans le sol est supérieure à ce qui est prélevé par les cultures, il y a danger que l'excédent se retrouve dans les eaux souterraines ou superficielles. Ce danger culmine lorsque les conditions sont humides et que le sol possède une faible capacité de fixer les produits chimiques; c'est le cas notamment des sols à texture grossière comme les loams sableux. Les régions où l'eau risque le plus d'être contaminée par l'azote sont souvent celles où l'on pratique des cultures exigeantes en cet élément et où par conséquent on épand de grandes quantités d'engrais azotés (*voir* l'encadré sur l'azote résiduel). Les sols des régions où les productions animales sont intensives affichent souvent des teneurs élevées en éléments nutritifs, en particulier le phosphore, en raison des apports importants de fumier animal.

L'azote devient assimilable par les plantes lorsqu'il est sous une forme soluble, soit principalement sous forme de nitrates. Ainsi, les nitrates du sol peuvent se dissoudre dans l'eau et être entraînés par ruissellement superficiel ou être lessivés au-delà de la zone des racines, pour se retrouver dans le système de drainage ou la nappe phréatique. Les eaux souterraines renfermant des nitrates migrent à travers des zones perméables appelées aquifères et peuvent éventuellement rejoindre les eaux superficielles. Les aquifères constituent la source de l'eau potable dans de nombreuses parties du pays (*voir* le chapitre 2). Les fortes concentrations d'ammoniaque, une autre forme soluble d'azote, peuvent être toxiques pour les poissons. Les jus de fumier et les boues résiduaires et industrielles renferment parfois des teneurs élevées en ammoniaque.

Bien que les nitrates eux-mêmes soient relativement peu toxiques, ils peuvent être réduits, dans l'appareil digestif des nourrissons et des ruminants (p.ex. : bovins et moutons), en nitrites, qui eux sont toxiques. Or, les nitrites causent la *méthémoglobinémie* (ou syndrome de Comly), qui réduit la capacité du sang à transporter l'oxygène. La plupart des cas de cette intoxication chez les humains sont liés à la consommation d'eau renfermant au moins 40 milligrammes d'azote des nitrates par litre. Les nitrites jouent également un rôle dans la formation des nitrosamines, qui peuvent causer le cancer. Les eaux superficielles affichent rarement des concentrations de nitrates supérieures aux limites prévues dans les recommandations sur la qualité de l'eau, mais il en va autrement des eaux de puits (*voir* le chapitre 6). Les fortes concentrations en nitrates peuvent également nuire à la faune (*voir* le chapitre 7).

Le phosphore et l'azote qui passent des terres agricoles aux eaux superficielles n'atteignent généralement pas des niveaux présentant un risque direct pour les humains ou les animaux. Toutefois, ils peuvent être assez abondants pour causer l'*eutrophisation* (*voir* le chapitre 7), phénomène qui se produit parfois naturellement mais peut être accéléré par l'activité humaine.

## Pesticides

Sur les terres agricoles, on exerce une discrimination à l'endroit de certaines plantes et de certains animaux afin de favoriser la production agricole. C'est ainsi que des pesticides peuvent être appliqués pour lutter contre les mauvaises herbes, les insectes, d'autres ravageurs et les maladies des plantes qui nuisent à cette production. En réduisant le besoin de travail du sol pour enrayer les mauvaises herbes, les herbicides offrent l'avantage supplémentaire de réduire l'érosion, la consommation de carburant et, du même coup, la production de gaz à effet de serre. Les types suivants de pesticides sont d'usage courant dans l'agriculture canadienne (dans l'ordre de la quantité utilisée) :

- herbicides
- insecticides
- fongicides pour lutter contre les maladies cryptogamiques.



*Utilisation des pesticides*

Jusqu'en 1999, il n'existait pas de base de données nationale sur l'emploi des pesticides au Canada à l'exception des statistiques générales recueillies dans le cadre du *Recensement de l'agriculture* et de l'information sur les ventes réunies par l'Institut pour la protection des végétaux (un organisme de l'industrie). À l'heure actuelle, l'agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, qui relève de Santé Canada, est à mettre sur pied une *Base de données nationale sur les ventes de pesticides*, appuyé par l'institut précité. Certaines provinces (p.ex. : l'Alberta, l'Ontario, et le Québec) tiennent également des bases de données sur l'emploi des pesticides. Selon les données du recensement, la superficie agricole traitée aux herbicides s'est accrue de 8 % de 1991 à 1996, passant de 21,4 à 23,1 millions d'hectares soit de 52 à 56 % des terres cultivées (terres en culture et jachères).

Bon nombre de pesticides sont appliqués au sol, mais pas tous. Certains peuvent s'évaporer du sol ou du couvert végétal ou être transportés sous forme d'aérosols au moment de la pulvérisation. Des pesticides peuvent également être entraînés par ruissellement et se retrouver dans les eaux superficielles. Ils peuvent aussi être lessivés dans le

## Normes de qualité de l'eau pour l'abreuvement des animaux d'élevage

Les qualités chimiques de l'eau (p. ex. pH, alcalinité, dureté et salinité) ne représentent généralement pas de risque majeur pour la santé des animaux pour autant qu'elles restent dans les limites indiquées au tableau ci dessous. Mais des concentrations de solides dissous totaux supérieures à 3 000 milligrammes par litre ont un effet sur la santé et la performance zootechnique des animaux d'élevage. Elles entraînent des mictions plus abondantes et, chez la vache laitière, une baisse de la production de lait. Les composés communiquant un goût, une odeur ou une couleur à l'eau peuvent être détectés par les animaux, mais n'ont généralement pas d'effet direct sur la santé et la productivité. Ils peuvent, toutefois, être l'indice d'une contamination organique ou inorganique et ne doivent pas être négligés.

Les éléments traces sont des éléments chimiques normalement présents en infimes quantités dans les organismes vivants. Des quantités excessives de ce genre d'éléments (p. ex., cuivre, zinc, manganèse, sélénium et fer) peuvent causer un déséquilibre nutritif dans les aliments des animaux et réduire la capacité de ces derniers à assimiler d'autres minéraux. Des substances toxiques peuvent se trouver dans l'eau, soit naturellement, soit à cause de la pollution liée aux activités humaines. Des exemples courants sont l'arsenic, le plomb, le mercure, les hydrocarbures ou les organochlorés.

Les *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux — abreuvement des animaux* indiquent les teneurs recommandées pour des substances telles que les éléments traces et les composés toxiques. Si ces teneurs sont dépassées, la santé et la productivité des animaux peuvent en souffrir. Les bovins, par exemple, sont très sensibles à l'empoisonnement par les nitrates, car ils convertissent ceux-ci en nitrites dans leur rumen, ce qui stoppe le transport de l'oxygène dans le sang. Les fortes concentrations d'azote dans l'eau peuvent provoquer la méthémoglobinémie chez la vache gestante et entraîner la mort du veau à la naissance. Les porcs peuvent aussi être atteints. Les concentrations élevées de sulfates provoquent l'inflammation gastro-intestinale et la diarrhée chez le jeune veau et le porcelet nouvellement sevré.

On trouve souvent dans l'eau distribuée aux animaux des micro-organismes tels que des virus, des bactéries, des protozoaires et des algues qui peuvent causer de graves problèmes de santé ou la mort. Les maladies qui peuvent être contractées par ingestion de ces microbes comprennent les maladies diarrhéiques, le charbon bactérien, le botulisme, la brucellose, la tuberculose et le piétin. La présence des algues bleue-vert pose problème, car plus de 50 % de leurs inflorescences contiennent des toxines du foie ou des toxines du cerveau, qui peuvent entraîner une baisse de la fonction hépatique ou la mort soudaine.

**Valeurs limites de certains paramètres physiques et chimiques de l'eau d'abreuvement**

| Paramètre | Fourchette recherchée | Valeurs inacceptables |
|---|---|---|
| pH | 6,5–8,3 | Inférieur à 5,5; supérieur à 8,5 |
| Alcalinité totale | Moins de 400 mg/L de carbonate de calcium | Plus de 5 000 mg/L de carbonate de calcium |
| Dureté totale | Moins de 180 mg/L | Non établie |
| Solides dissous totaux | Moins de 500 mg/L | Plus de 3 000 mg/L |
| Sulfate | Moins de 1 000 mg/L | Plus de 2 500 mg/L |

Sources : Léonard et Leduc, 1997; Veenhuizen et Shruson, 1992

*F. Croteau et D.I. Massé, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

système de drainage ou les eaux souterraines. Les facteurs suivants déterminent la quantité de pesticides qui s'échappent des terres en culture et comment cela se produit :

- nature du pesticide et quantité utilisée
- conditions atmosphériques
- temps écoulé entre l'application des pesticides et les précipitations
- propriétés physiques et chimiques du sol
- pente du terrain
- pratiques culturales.

Par le passé, les pesticides étaient souvent très toxiques, persistants, ou les deux à la fois, et posaient une grave menace pour la santé des humains et des animaux. De nos jours, ils sont généralement moins toxiques, plus spécifiques et moins persistants, mais leur présence dans l'eau demeure un sujet d'inquiétude, et les limites de sécurité ne sont pas toujours connues. L'adoption des principes et des pratiques de *lutte intégrée* peut réduire la dépendance de l'agriculture à l'égard des pesticides (*voir* le chapitre 8).

### Pathogènes et autres facteurs

Des organismes pathogènes incluant des bactéries, des virus et des parasites, sont naturellement présents dans l'eau et le sol. Toutefois, la présence de bactéries coliformes peut indiquer que l'eau potable a été contaminée par des matières fécales d'origine animale ou humaine. Les bactéries des terres agricoles peuvent migrer dans les eaux souterraines ou être transportées par ruissellement vers les eaux superficielles. De fortes concentrations de bactéries dans l'eau de puits sont souvent le fait de puits mal construits ou mal entretenus, ou encore de sources ponctuelles de pollution, tels qu'un champ d'épuration ou un système d'évacuation des eaux usées en mauvais état, ou la proximité de gros parcs d'engraissement ou d'exercice, et de tas de fumier à ciel ouvert.

Certains *métaux lourds* (p.ex., cadmium, mercure et plomb) sont toxiques pour les humains et pour la faune. Ils peuvent se retrouver dans les sols agricoles par suite d'un dépôt atmosphérique ou encore de l'application de boues résiduaires, de boues industrielles, d'effluents pour l'irrigation, d'engrais minéraux ou de fumier animal. Dans bon nombre de parties du pays, on réglemente les applications de boue afin de prévenir l'accumulation des métaux lourds à des concentrations dangereuses. On s'inquiète également de la possibilité que les métaux lourds contenus dans les sols agricoles passent dans les eaux souterraines ou superficielles, entraînant un risque pour la santé des humains et de la faune aquatique. Toutefois, cela ne semble pas constituer un problème selon les résultats des recherches.

L'inquiétude nouvelle touchant la qualité de l'eau est la possibilité que des *modulateurs endocriniens* affectent le poisson, la faune et les humains utilisant de l'eau susceptible d'avoir été contaminée par le ruissellement agricole ou industriel ou encore par des dépôts atmosphériques. Des études de laboratoire ont établi qu'une telle possibilité existe, mais on ne sait pas encore de façon certaine si le problème est important dans le cas des eaux canadiennes, ni s'il est lié à l'agriculture ou à d'autres utilisations de l'eau dans les zones rurales (*voir* l'encadré, p. 42).

## Besoins d'eau de bonne qualité en agriculture

### Irrigation

L'irrigation nécessite de l'eau de bonne qualité de façon à protéger la santé des cultures, les sols et la nappe phréatique. Par exemple,

- les pathogènes présents dans l'eau d'irrigation peuvent survivre sur la culture irriguée
- les résidus d'herbicide présents en petites quantités dans l'eau d'irrigation peuvent endommager certaines cultures
- la forte salinité de l'eau d'irrigation peut réduire la capacité de certaines plantes d'absorber suffisamment d'eau du sol et pourrait contribuer à terme à la salinisation des sols et des eaux souterraines
- certains contaminants organiques peuvent décolorer la peau des légumes, des petits fruits et des fruits à l'état frais, et les rendre ainsi moins attrayants pour le consommateur.

### Élevage

Les normes de qualité de l'eau de boisson varient selon les animaux d'élevage auxquels elle est destinée. En règle générale, les bovins tolèrent mieux une eau de qualité médiocre que la volaille et le porc, et il en va de même des sujets adultes par rapport aux jeunes. Des facteurs environnementaux, dont la température, peuvent également influer sur l'acceptabilité de l'eau destinée à l'abreuvement du bétail. Soumis à une forte chaleur, les animaux consomment de grosses quantités d'eau et, par conséquent, absorbent davantage de contaminants susceptibles de nuire à leur santé.

## Qualité des eaux transfrontalières

Par endroits, la frontière canado-américaine longe ou traverse des cours d'eau et des bassins versants. Par exemple, le cours supérieur de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick, le Saint-Laurent, les Grands Lacs et plusieurs rivières de l'Ouest telles que la Rouge au Manitoba, les rivières St. Mary et Milk en Alberta, et la Flathead en Colombie-Britannique, partagent ou traversent notre frontière commune. Les activités sur ces rivières et ces bassins versants ont des incidences qui se font sentir des deux côtés de la frontière. Les questions « transfrontalières » sont celles qui se posent au sujet de la qualité de l'eau des eaux longées ou traversées par la frontière.

À la suite de différends entre le Montana, l'Alberta et la Saskatchewan au sujet des rivières St. Mary et Milk, le *Traité des eaux limitrophes*, de 1909, a institué la Commission mixte internationale (CMI). La CMI est l'organisme par l'intermédiaire duquel les deux pays partagent la gestion des eaux limitrophes et transfrontalières. Entre autres choses, la Commission institue des recherches conjointes et constitue un carrefour pour la participation du public et des administrations locales.

**Facteurs influant sur la qualité des eaux transfrontalières**

- croissance démographique et urbanisation
- changement climatique
- expansion économique, demandes d'énergie et production accrue de déchets
- intensification de l'agriculture

**Préoccupations liées aux eaux transfrontalières**

- offre et demande d'eau
- emploi et rejet de produits chimiques
- perte d'habitat aquatique et de diversité biologique
- gestion des déchets

L'examen des questions ayant trait aux eaux transfrontalières a souvent impliqué une multitude d'administrations, d'organismes et de mesures de conservation. Par exemple, un affluent du bassin versant de la rivière Meduxnekeag dans le comté d'Aroostook (État du Maine) se jette dans la rivière Saint-Jean au Canada. Un plan d'évaluation environnementale et de protection du bassin versant a été préparé dans le Maine par les organismes chargés de la conservation des sols et de l'eau de cette région, dont les organismes gouvernementaux, les organisations agricoles et les groupes autochtones. Ce plan d'amélioration de la qualité des eaux recommande des mesures de conservation du sol et de l'eau visant l'agriculture, l'exploitation forestière et l'entretien des routes dans le bassin versant.

La pression sur les ressources en eaux transfrontalières continue d'augmenter de pair avec la croissance démographique. Par exemple, la Commission estime que d'ici à 2035, la consommation d'eau des Grands lacs aura augmenté de trois à huit fois par rapport à son niveau de 1975. Les demandes d'utilisation des eaux transfrontalières pour l'irrigation continueront d'augmenter aussi. L'augmentation des demandes d'eau fait croître les préoccupations pour la qualité de l'eau et les effets des infiltrations, des écoulements et des dépôts sur cette qualité.

*B.A. Kirschner, Commission mixte internationale*
*G.L. Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada*

Comme dans le cas de l'eau potable destinée aux humains, l'eau de boisson des animaux doit respecter certaines lignes directrices (*voir* l'encadré, p. 42) portant sur

- les caractères physiques et chimiques
- le goût, l'odeur et la couleur
- les substances présentes en quantités excessives (oligo-éléments)
- les composés chimiques toxiques (nitrates, pesticides)
- les micro-organismes (virus, bactéries, protozoaires, cyanobactéries).

La qualité de l'eau peut également avoir de l'importance pour le matériel utilisé dans l'élevage du bétail. D'ailleurs les exigences relatives à la qualité de l'eau et à l'hygiène peuvent être plus strictes dans ce cas que pour la consommation. Par exemple, l'accumulation de minéraux, de particules de sédiments ou de substances organiques risquent de bloquer les abreuvoirs automatiques. Trop acide, l'eau peut entraîner la corrosion des tuyaux. Trop alcaline ou trop riche en calcium et en magnésium, elle peut causer l'accumulation de tartre dans les tuyaux et autres équipements.

## Utilisation domestique

Chaque résidant rural est largement responsable de veiller à ce que l'eau qu'il boit soit sans danger. Cette responsabilité présente des difficultés en raison de l'absence de techniques de traitement de l'eau appropriées et abordables pour les petits systèmes. Ces dernières années, les administrations fédérale et

provinciales et le secteur privé ont accordé plus d'attention aux problèmes de la qualité de l'eau en milieu rural. Du début à la fin de la décennie 1990, le Plan vert du Canada a permis de financer des projets de recherche et de vulgarisation qui ont aidé à définir la nature de ces problèmes et à mettre au point des technologies et des pratiques de gestion propres à améliorer la qualité de l'eau.

D'autre part, la qualité des eaux tant superficielles que souterraines peut varier considérablement tout au long de l'année. Il est souhaitable de traiter et de désinfecter toutes les sources d'approvisionnement d'eau à usage domestique, en se fondant sur des analyses régulières de la qualité de l'eau. Celles-ci devraient tenir compte de paramètres tels que les coliformes, les nitrates, les solides totaux dissous, et d'autres critères pouvant correspondre à des préoccupations locales, tels que la présence de fer, de manganèse, de sodium, de sulfates ou d'arsenic.

## Questions interprovinciales et internationales

La qualité de l'eau n'est pas uniquement une préoccupation locale. Les contaminants dans les eaux superficielles et souterraines voyagent souvent de longues distances, franchissant les frontières provinciales et nationales (*voir* l'encadré, p. 69) La qualité de l'eau constitue un enjeu de taille pour les nombreux plans d'eau et cours d'eau que nous partageons avec les États-Unis (*voir* l'encadré, p. 44), d'où la nécessité pour les Canadiens d'examiner les droits et les besoins des utilisateurs en aval.

## Conclusion

Il est difficile d'évaluer les tendances de la qualité de l'eau en fonction du temps et de l'espace au Canada faute de données suffisantes. Toutefois, de nombreuses études régionales et locales sur la qualité de l'eau ont été menées à diverses fins par divers groupes. On s'est largement inspiré de leurs résultats pour décrire la qualité de l'eau au chapitre 5 (Qualité de l'eau superficielle) et au chapitre 6 (Qualité de l'eau souterraine). Dans certains cas, on disposait de données permettant d'établir les tendances générales dans une région. Pour certaines régions, on présente des études de cas pour illustrer comment on surveille et gère la qualité de l'eau localement, habituellement au niveau du bassin versant. Au besoin, les résultats de recherches particulières sur le terrain sont donnés. On trouvera au chapitre 7 (Problèmes écologiques), et au chapitre 8 (Préservation de la qualité de l'eau) des résultats de recherche établissant un lien entre la qualité de l'eau et la santé des écosystèmes aquatiques; ils montrent comment on peut atténuer l'incidence des activités agricoles sur la qualité de l'eau.

# 5. La qualité des eaux de surface

*P.A. Chambers, A.-M. Anderson, C. Bernard, L. J. Gregorich, B. McConkey, P.H. Milburn, J. Painchaud, N. K. Patni , R. R. Simard et L.J.P. van Vliet*

## Faits saillants

- La quantité de sédiments d'origine agricole qui pénètrent dans les eaux de surface est la plus faible dans les Prairies et la plus élevée dans les régions des provinces de l'Atlantique où l'on cultive la pomme de terre. Le risque d'érosion hydrique et éolienne a diminué dans la plupart des provinces entre 1981 et 1996, entraînant ainsi une baisse de la quantité de sol qui atteint les eaux de surface.

- De plus, l'azote et le phosphore se trouvent rarement en concentrations jugées toxiques, d'une part, dans les sources d'approvisionnement en eau potable destinée aux humains ou aux animaux et, d'autre part, pour la vie aquatique. Toutefois, ces éléments peuvent nuire à la qualité de l'eau à cause du processus d'eutrophisation. Les teneurs en éléments nutritifs dans les eaux de surface dépassent souvent un ou plusieurs des seuils recommandés pour la qualité de l'eau dans les régions où l'agriculture est intensive, comme le sud du Québec, où l'on épand d'importantes quantités de fumier et d'engrais. Cependant, les améliorations apportées aux pratiques de travail de sol, de stockage du fumier et d'utilisation des engrais atténuent ce problème.

- Les pesticides pénètrent dans les eaux superficielles par écoulement de surface (ruissellement) sur les terres agricoles et par dépôt atmosphérique. On les détecte dans les eaux superficielles, mais rarement en quantité supérieure aux recommandations pour l'eau potable. Les quantités dépassent parfois les recommandations pour l'irrigation et la protection de la vie aquatique.

- Il n'est pas rare de rencontrer des bactéries dans les eaux de ruissellement. En effet, elles s'y trouvent en grand nombre dans les eaux de ruissellement qui proviennent des champs amendés avec du fumier, même si l'on n'a établi aucun lien entre l'abondance des bactéries et la densité animale.

- Les métaux lourds contaminant les eaux de surface proviennent principalement de sources naturelles, et ce type de contamination n'a pu être associé avec certitude aux pratiques agricoles, dont l'épandage des boues d'épuration sur les terres.

## Introduction

Par qualité des eaux de surface, on entend les propriétés physiques, chimiques et biologiques des eaux des lacs, des cours d'eau et des estuaires. La qualité de l'eau évolue avec les saisons et d'une région géographique à l'autre, même en l'absence de pollution. La chimie fondamentale des eaux des cours d'eau et des lacs est déterminée par le sol, les formations géologiques, la topographie et la végétation présente dans le bassin versant. À ces conditions fondamentales s'ajoutent les substances introduites à la suite d'une activité humaine. En particulier, l'évolution de l'utilisation des terres et des pratiques d'exploitation influe sur la quantité et sur la qualité de l'écoulement de surface qui, à son tour, modifie le bilan hydrique, la chimie de l'eau et les biocénoses des plans récepteurs.

Aucune mesure seule ne peut garantir la qualité des eaux de surface. Par exemple, si les lacs et les cours d'eau dont l'eau est pure et dans lesquels poussent peu de plantes aquatiques ou d'algues semblent se prêter parfaitement à la pratique des sports

aquatiques, la présence d'une vie végétale peu abondante peut de son côté restreindre la croissance des insectes aquatiques et des poissons. De même, une eau qui semblerait de bonne qualité dans les prairies humides peut s'avérer trop riche en éléments nutritifs pour les lacs du Bouclier canadien. Par conséquent, la qualité idéale des eaux des lacs et des rivières varie géographiquement à la fois en fonction du terrain géologique et de l'utilisation de cette ressource.

Dans le présent chapitre, nous analyserons la contribution de l'agriculture aux principaux indicateurs physiques, chimiques et biologiques associés à la qualité des eaux de surface, soit les sédiments en suspension, les éléments nutritifs, les pesticides, les agents pathogènes, les métaux et la matière organique.

## Sédiments en suspension

La plus grande partie des sédiments dans les cours d'eau proviennent des rives et du fond, mais les pratiques agricoles, comme le travail du sol et le fait de laisser les animaux avoir accès aux cours d'eau (*voir* l'encadré, p. 95), accentuent l'érosion et le mouvement du sol des terres agricoles vers les eaux environnantes. Par contre, les réservoirs réduisent la masse de sédiments transportés dans les cours d'eau. Selon les *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique*, la quantité totale de solides en suspension dans un effluent pendant une période de débit élevé doit

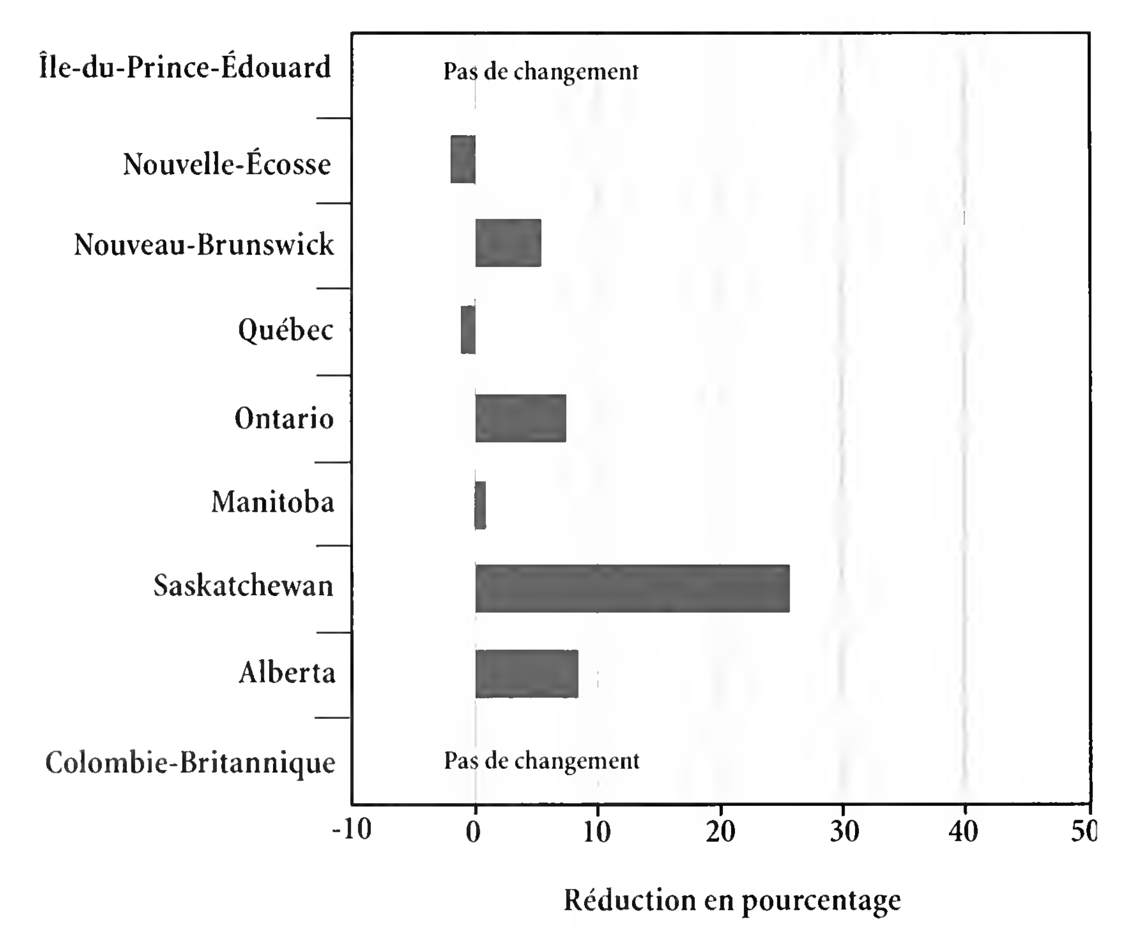
- soit dépasser d'au plus 25 milligrammes par litre les niveaux de pollution naturelle dans les plans récepteurs qui contiennent plus de 25 mais moins de 250 milligrammes par litre
- soit augmenter les concentrations dans les plans récepteurs d'au plus 10 % des niveaux de pollution naturelle, quand ces plans récepteurs contiennent plus de 250 milligrammes par litre.

Quand le débit est faible ou clair, les seuils de tolérance recommandés limitent les hausses à 25 milligrammes par litre pour des périodes de moins de 24 heures et à 5 milligrammes par litre pour les périodes allant jusqu'à 30 jours.

Le sol est le plus sensible à l'érosion hydrique à la fonte des neiges au printemps, pendant laquelle on observe le plus haut taux de perte de sol pendant l'année (*voir* Étude de cas — Black Brook). Les pertes de sol dans les champs dépendent également de la granulométrie du sol. Le sable se dépose plus rapidement que les fines particules d'argile, de sorte que les sédiments qui atteignent les plans d'eau sont souvent enrichis de fractions organiques et à texture fine comparativement au sol dont ils proviennent (tableau 5-1). Ce processus accroît la teneur en éléments nutritifs des sédiments, parce que ces fractions retiennent généralement plus d'éléments nutritifs que les sédiments grossiers.

De 1981 à 1996, le risque d'érosion hydrique a baissé en Alberta, en Saskatchewan, au Manitoba, en Ontario et au Nouveau-Brunswick. Toutefois, il est

**Figure 5-1**
**Terres arables : évolution du risque d'excéder un niveau tolérable d'érosion hydrique entre 1981 et 1996**




Source : McRae et al., 2000

**Tableau 5-1**
**Enrichissement de sédiments érodés comparativement aux deux sols non érodés du Québec, desquels ils sont dérivés**

| Composantes du sol et des sédiments | Limon silteux | Limon graveleux |
|---|---|---|
| | (% de changement) | |
| Argile | 40 | 80 |
| Sable | −60 | −60 |
| Matière organique | 10 | 110 |
| Phosphore disponible | 98 | 150 |
| Potassium disponible | 290 | 80 |

Source : Bernard et coll., 1992

## Étude de cas

## Bassin hydrographique expérimental du Black Brook au Nouveau-Brunswick

Le bassin hydrographique du Black Brook couvre environ 1 450 hectares au nord de Grand Falls (N.-B.) et est composé à 65 % de terres agricoles accidentées. La principale culture est la pomme de terre, produite en rotation avec les céréales, le pois et le foin, une partie des terres étant réservée au pâturage. Le bassin hydrographique expérimental du Black Brook a été établi en 1991 afin d'évaluer l'effet de la production intensive de la pomme de terre sur les apports solides et sur la charge de produits chimiques dans les eaux de surface.

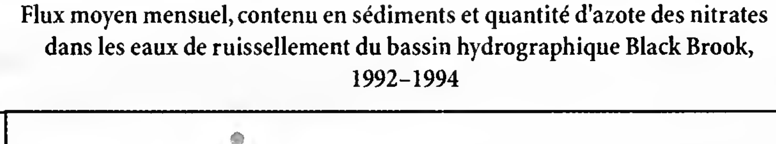
Les conditions climatiques sont vérifiées à cinq stations météorologiques dans le bassin hydrographique. La qualité de l'eau est analysée à des stations de jaugeage dans huit sous-bassins, cinq déversoirs fonctionnant à longueur d'année et cinq puits de contrôle de l'eau souterraine à plusieurs niveaux.

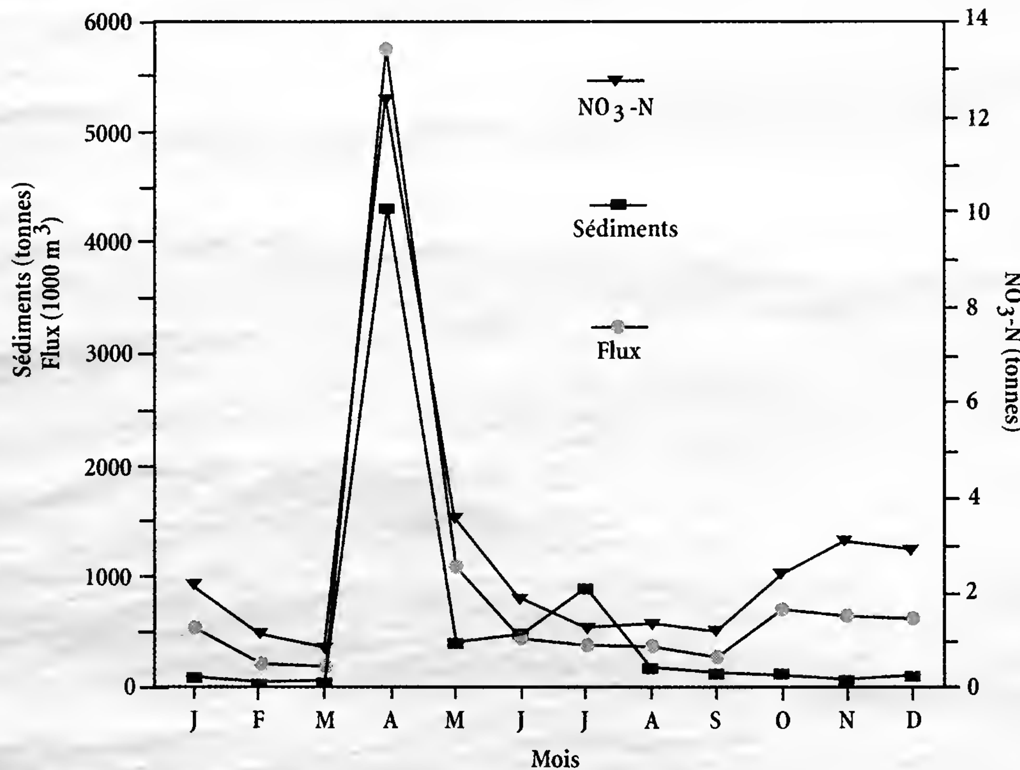
De 1992 à 1994, les données nous indiquent que

- le débit annuel atteignait en moyenne 10,9 millions de mètres cubes, dont 53 % s'écoulaient pendant le ruissellement printanier en avril
- les apports solides annuels se situaient en moyenne à plus de 6 500 tonnes (4,5 tonnes par hectare), dont 65 % atteignaient les eaux de surface en avril et 28 %, de mai à août
- les apports annuels de produits chimiques, soit l'azote des nitrates, le phosphate et le potassium, sous forme soluble, correspondaient à environ 6, 1 et 17 % respectivement de la quantité d'engrais épandus par année.

Les concentrations de sédiments en suspension de 1992 à 1994 étaient supérieures aux seuils qualitatifs recommandés au Canada pour la vie aquatique (10 milligrammes par litre) pendant plusieurs mois. De plus, plusieurs pluies estivales ont gonflé ces teneurs à plus de 20 000 milligrammes par litre. Les concentrations de nitrate ont également excédé les seuils canadiens pour la qualité de l'eau potable (10 milligrammes par litre) seulement deux fois, mais ont constamment varié de 2 à 9 milligrammes par litre, ce qui est bien supérieur au niveau naturel de pollution de moins de 1 milligramme par litre. Les concentrations de nitrate ont augmenté après l'épandage d'engrais. Celles de phosphate étaient dans l'ensemble inférieures à 100 microgrammes par litre, même si plusieurs événements les ont fait grimper à plus de 200 microgrammes.

Dans ce bassin hydrographique, on applique couramment des herbicides, des insecticides et des fongicides. L'analyse de 54 échantillons prélevés de novembre 1993 à janvier 1995 a montré que trois pesticides (chlorothalonil, pirimicarbe et métribuzine) étaient parfois détectés en faibles quantités. Par contre, à trois dates, le carbofuran était présent dans des concentrations supérieures à 1 milligramme par litre. La plupart du temps, les plus fortes teneurs en ces quatre pesticides coïncidaient avec la pulvérisation de ces produits sur les cultures.


**Flux moyen mensuel, contenu en sédiments et quantité d'azote des nitrates dans les eaux de ruissellement du bassin hydrographique Black Brook, 1992–1994**




*T.L. Chow, P.H. Milburn et H.W. Rees*
*Agriculture et Agroalimentaire Canada*

## Étude de cas
## South Tobacco Creek (Manitoba)

Le projet pilote de South Tobacco Creek, lancé en 1991 conformément à l'Entente Canada-Manitoba sur la conservation des sols (ECMCS), est une enquête coopérative sur les répercussions de l'agriculture sur les écosystèmes terrestres et aquatiques dans le bassin du South Tobacco Creek dans le sud du Manitoba. Le projet lancé de concert avec 42 agriculteurs locaux, la Deerwood Soil and Water Management Association, l'Université du Manitoba, les gouvernements fédéral et provincial et l'entreprise privée est maintenant financé grâce à des fonds d'autres programmes gouvernementaux et du secteur privé.

Globalement, le projet comportait une étude hydrologique et la cueillette de données sur : le ruissellement dans quatre petits bassins hydrographiques; les pluies continues et quotidiennes; les pratiques d'utilisation et de gestion des terres, y compris l'épandage d'engrais, d'herbicides et d'insecticides, le travail du sol et les pratiques culturales. Les recherches comprenaient notamment :

- Une étude sur des bassins hydrographiques jumeaux comprenant, d'une part, la collecte de données sur l'écoulement de surface et, d'autre part, le prélèvement d'échantillons d'eau pour évaluer les propriétés hydrologiques, les sédiments et les éléments nutritifs de l'eau de ruissellement de deux petits bassins hydrographiques adjacents, dont l'un est cultivé sans travail du sol et l'autre est labouré selon des méthodes classiques. L'objectif consistait à intégrer l'information sur l'utilisation des terres, les pratiques agricoles, l'écoulement de surface et les éléments nutritifs à un modèle de bassin hydrographique qui pourrait servir à l'évaluation des répercussions de l'agriculture sur les écosystèmes terrestres et aquatiques.
- Le suivi du transport des pesticides agricoles à l'intérieur des bassins hydrographiques pour déterminer les sources et le trajet des pesticides détectés dans les eaux de ruissellement et pour évaluer l'importance relative des pesticides de sources atmosphériques.
- Un récent projet (1998) d'étude sur l'épandage de lisier de porc. Le lisier de porc liquide est appliqué sur les terres agricoles d'un petit bassin hydrographique, puis intégré au sol. On analyse l'écoulement de surface pour y doser la teneur en éléments nutritifs et procéder à des numérations bactériennes.
- Une étude destinée à évaluer l'impact de petits barrages en amont sur les sédiments et sur les éléments nutritifs. Les échantillons d'eau sont prélevés en haut et en bas des deux barrages utilisés pour vérifier l'écoulement de surface.

Pendant la durée de ce projet de plusieurs années, les mesures de la qualité de l'eau pour le South Tobacco Creek ont fluctué entre 6,8 et 43 milligrammes par litre (mg/L) pour le carbone organique total, de 0,3 à 4,3 mg/L pour l'azote total et de 0,05 à 2,9 mg/L pour le phosphore total. Les valeurs les plus faibles pour ces paramètres ont été observées pendant des périodes de débit réduit. Les niveaux de sédiments provenant de la zone sèche du bassin hydrographique, y compris de l'érosion du chenal, ont été relativement élevés, avec des pertes d'environ 435 kilogrammes par hectare par année.

Dans les cours d'eau, on a détecté sept pesticides, dont deux qui ne sont pas employés dans le bassin, et ce, à des concentrations bien inférieures aux seuils qualitatifs recommandés au Canada pour la vie aquatique. Les teneurs en quatre herbicides (2,4-D, dichlorprop, MCPA et bromoxynil) dans le South Tobacco Creek ont fluctué de moins de 0,01 nanogramme par litre (ng/L) à tout au plus 680 ng/L (pour le 2,4-D) et correspondaient aux périodes d'application locale. Selon les calculs, les teneurs en herbicides dans le South Tobacco Creek correspondaient à moins de 0,01 % de la quantité utilisée dans le bassin hydrographique. Elles n'étaient pas associées aux pertes dues au ruissellement, mais plutôt à des concentrations élevées mesurées dans les eaux de pluie et dans l'air dans le bassin hydrographique. Les teneurs à la fonte des neiges étaient importantes, quand il n'y avait pas d'écoulement de surface majeur au cours de la campagne agricole précédente.

L'un des volets du projet pilote de South Tobacco Creek consistait en activités de vulgarisation et de sensibilisation. Les résultats du projet sont présentés sur un site Web (http://www.deerwood.mb.ca) et dans des dépliants. Un volet éducatif destiné aux enfants d'âge scolaire a été conçu pour amener les enfants à comprendre le rapport entre l'agriculture et l'environnement.

*J. Yarotski, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

demeuré le même en Colombie-Britannique et à l'Île-du-Prince-Édouard et a même augmenté au Québec et en Nouvelle-Écosse (fig. 5-1). Une atténuation de l'érosion peut entraîner une baisse de la quantité de sédiments dans les cours d'eau, dépendant du transport des sédiments des champs vers les cours d'eau par ruissellement (écoulement de surface). Ce sont les conditions locales du sol, de la pente et de la végétation qui, ensemble, déterminent le taux de transport des sédiments. L'érosion du sol par l'eau est habituellement moins grave dans les régions plus sèches du Canada, comme la région de l'intérieur de la Colombie-Britannique et les Prairies, où il pleut moins.

Les descriptions régionales suivantes donnent les taux de sédimentation, lorsque ceux-ci sont disponibles, et précisent les estimés des indicateurs agroenvironnementaux d'Agriculture et Agroalimentaire Canada pour le risque d'érosion hydrique éolien du sol.

**Colombie-Britannique**

En Colombie-Britannique de 1981 à 1996, environ 6 % des terres labourables sont passées principalement d'un risque faible d'érosion hydrique à un risque moyen. Même si la proportion des terres labourables à un risque tolérable d'érosion hydrique est demeurée constante entre 1981 et 1996, à certains endroits, dans les régions du sud et du centre de la province, le risque a légèrement augmenté en dépit de l'amélioration des pratiques culturales et du recours à la culture sans labour.

Lors d'une étude du bassin hydrographique de la rivière Sumas menée en 1994, les valeurs moyennes pour les solides totaux en suspension ont fluctué entre 19 et 66 milligrammes par litre d'eau à neuf sites. La teneur en solides en suspension était généralement plus élevée les jours de pluie (de 9 à 95 milligrammes par litre) que les jours ensoleillés (de 10 à 23 milligrammes par litre).

**Provinces des Prairies**

Dans les Prairies, les possibilités d'érosion hydrique du sol et de transport des sédiments vers les cours d'eau sont restreintes en raison du climat sec, de la topographie en forme de cuvette et des nombreux bassins fermés (c.-à-d. sans sortie vers une rivière principale). Les trois provinces des Prairies ont enregistré une baisse du risque estimé d'érosion hydrique entre 1981 et 1996, et ce, en grande partie parce qu'elles ont modifié les systèmes culturaux (principalement en réduisant les superficies en jachère et en consacrant plus de terres aux cultures fourragères) et adopté des pratiques de *conservation du sol* et de *culture sans labour* (fig. 5-1). Le Manitoba a enregistré la plus faible réduction pour ce qui est des risques, mais 88 % des terres arables de cette région affichaient déjà un risque tolérable d'érosion en 1981. Les pertes de sédiments des terres cultivées pendant la fonte printanière s'élèvent habituellement à moins d'une tonne par hectare; elles peuvent toutefois atteindre jusqu'à 10 tonnes par hectare. Ces sédiments sont transportés vers les petits cours d'eau, puis charriés dans les plans d'eau plus importants pendant d'autres épisodes de ruissellement majeur. Les sédiments totaux quittant le bassin hydrographique de South Tobacco Creek au Manitoba atteignaient en moyenne 435 kilogrammes par hectare par année, et incluaient l'érosion du chenal et des rives (*voir* l'étude de cas, p. 50).



*Fossé comblé par du sol éolien en Saskatchewan*

Quant à l'érosion éolienne, on est plus particulièrement préoccupé par la qualité de l'eau quand des fossés, des chenaux ou de petits plans d'eau sont situés immédiatement sous le vent des champs gravement érodés et peuvent ainsi se remplir de sol balayé par le vent. Entre 1981 et 1996 dans les Prairies, le pourcentage des terres cultivées à risque élevé à très élevé d'érosion éolienne a diminué de 15 à 6 % (de 5 à 2 millions d'hectares).

**Centre du Canada**

L'érosion du sol et la sédimentation des cours d'eau sont des problèmes de longue date en Ontario. Les facteurs à l'origine de ce haut taux d'érosion et de transport du sol érodé vers les cours d'eau incluent :

- une grande partie des terres sont consacrées aux cultures à grands interlignes, comme le soja et le maïs
- de fortes tempêtes estivales
- les réseaux très développés de fossés agricoles et municipaux.

On mesure peu la teneur en sédiments dans les cours d'eau de la région. De plus, les mesures prises sont difficiles à interpréter, parce que les concentrations en sédiments varient plus selon le débit d'un cours d'eau que les teneurs en produits chimiques dissous. Selon les mesures prises au



*Érosion causée par les eaux de fonte*

milieu des années 1970 dans la partie ontarienne du bassin des Grands Lacs, les teneurs moyennes en sédiments se situaient à environ 50 milligrammes par litre dans les bassins hydrographiques argileux et à environ 30 milligrammes par litre dans les bassins sablonneux. On a observé des concentrations en sédiments allant jusqu'à 400 milligrammes par litre dans les deux types de bassins lorsque le débit était à son maximum.

Autrement dit, en moyenne 300 kilogrammes de sédiments par année par hectare de terres agricoles sont charriés vers les cours d'eau drainant ces terres. Ces valeurs ont fluctué de moins de 50 à presque 1 000 kilogrammes par hectare par année, selon le type de sol (les sols argileux contribuant les plus fortes charges de sédiments) et la prépondérance des cultures en lignes. En moyenne, 14 % de la masse de sédiments provenaient des rives érodées en partie naturellement.

Le problème a culminé au début des années 1980, pendant l'essor sans précédent de la culture intensive en lignes en Ontario. À ce moment-là, on privilégiait la monoculture continue à la rotation des cultures à grands interlignes avec des cultures fourragères ou à petits interlignes, comme l'avoine et le blé.

De 1981 à 1996, le risque d'érosion hydrique du sol a chuté d'environ 13 % en Ontario (fig. 5-1). La diminution de la quantité de sédiments dans les cours d'eau ontariens entraîne une baisse des teneurs en phosphate dans l'eau.

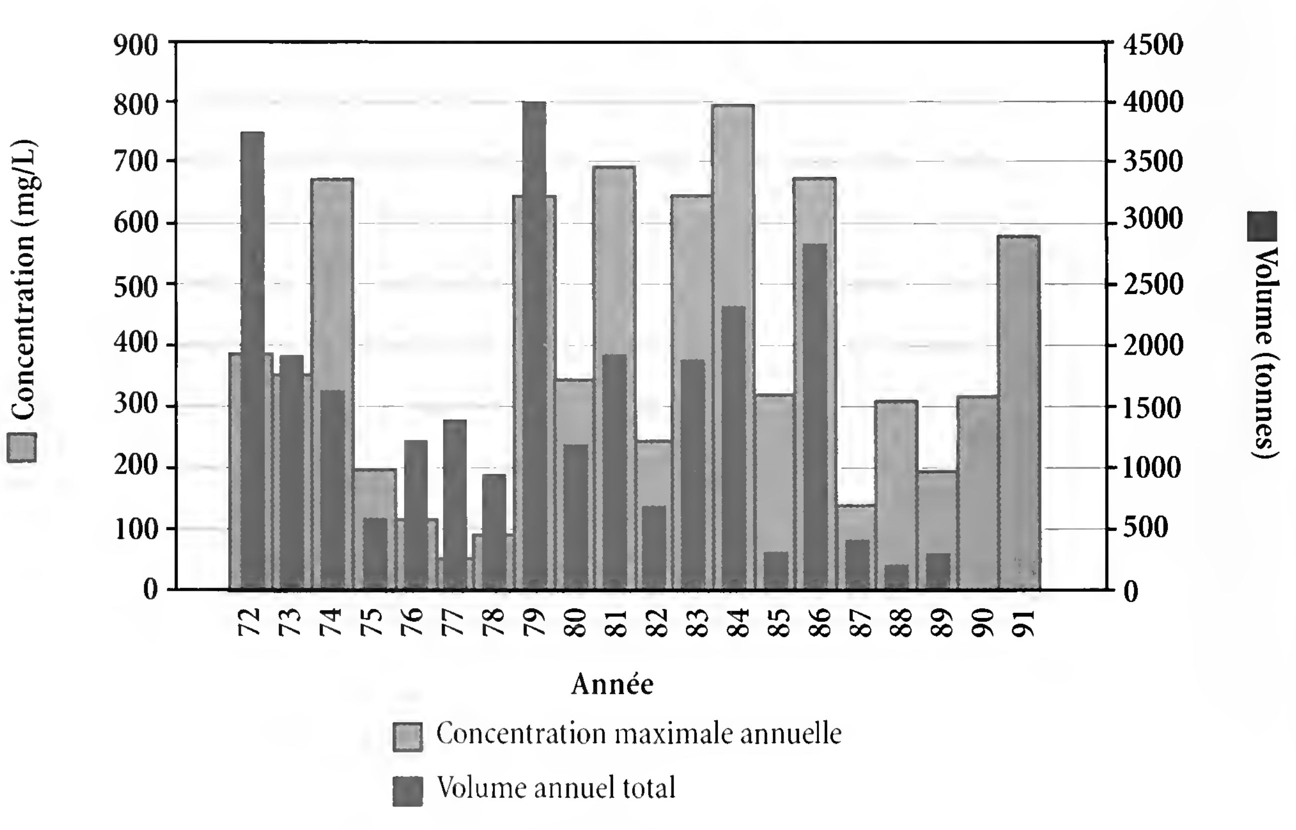
Le risque global estimatif d'érosion hydrique du sol au Québec est généralement faible. En 1996, 88 % des terres arables se situaient dans la catégorie à risque tolérable (fig. 5-1). Quoique dans certaines régions, les avantages associés à l'adoption de pratiques de conservation ont été annulés par l'intensification de la production de cultures en lignes (p. ex. soja, grain et maïs à ensilage, ainsi que légumes) et par une baisse simultanée des superficies consacrées aux cultures qui protègent mieux le sol contre l'érosion (p. ex. luzerne et céréales de printemps). Ce phénomène a entraîné une légère augmentation du risque global d'érosion hydrique dans la province entre 1981 et 1996 (fig. 5-1). Néanmoins, le Québec est la seule province à n'avoir pas de terres arables à présenter des risques élevés et sérieux.

Les mesures de l'érosion dans les champs au Québec montrent qu'environ 30 à 70 % du matériel érodé sont charriés ailleurs. Les valeurs les plus faibles ont été mesurées dans une ferme laitière où on produit du foin de façon extensive, et les valeurs les plus élevées, dans des champs de légumes.

**Provinces de l'Atlantique**

Les régions productrices de la pomme de terre du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard sont particulièrement vulnérables à l'érosion hydrique et à la sédimentation des cours d'eau, en particulier dans les régions accidentées, où les pommes de terre sont plantées de haut en bas des collines, plutôt que transversalement à la pente.

**Figure 5-2**
**Charge solide en suspension dans la rivière Wilmont, à l'Île-du-Prince-Édouard**




Source : Gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard, 2000

Dans ces conditions, on a observé des pertes de sol allant jusqu'à 40 tonnes par hectare par année, alors que là où l'on pratique la culture perpendiculaire à la pente de la pomme de terre, les pertes ne s'élèvent qu'à 5 à 6 tonnes par hectare par année. Entre 1981 et 1996, le risque d'érosion hydrique du sol a diminué au Nouveau-Brunswick en raison, principalement, du fait que la proportion des terres arables à haut risque a diminué de moitié pendant cette période. Le risque d'érosion hydrique est demeuré constant à l'Île-du-Prince-Édouard pendant cette période, alors qu'en Nouvelle-Écosse (fig. 5-1) il a augmenté légèrement. Cela s'expliquerait par les superficies élevées en légumes et en petits fruits.

Les concentrations des sédiments dans les cours d'eau dans les régions du Canada Atlantique où l'on pratique une agriculture intensive sont élevées (fig. 5-2). Il n'est pas rare de trouver des concentrations de 5 000 milligrammes par litre à certains endroits pendant ou immédiatement après des pluies abondantes.

## Éléments nutritifs

Pour que les lacs ou les rivières soient sains et propices à la vie des plantes, des insectes aquatiques et du poisson, ils doivent contenir une quantité modérée d'azote et de phosphore. Dans des conditions naturelles, ces éléments nutritifs et d'autres parviennent aux eaux de surface par les voies suivantes :

- ruissellement des eaux de surface provenant de terres non exploitées
- précipitations et retombées de poussières directement à la surface des eaux
- apports d'eau souterraine et arrivée des eaux des affluents
- sédiments se trouvant au fond des lacs ou des rivières
- matière végétale ou animale en décomposition
- fixation de l'azote atmosphérique, par certaines algues.

L'azote et le phosphore prennent plusieurs formes (*voir* l'encadré, p. 39). Seules les formes dissoutes sont absorbées par les végétaux. De nombreuses activités humaines accélèrent l'afflux des éléments nutritifs dans les eaux de surface. Les sources d'éléments nutritifs liées à des activités humaines incluent

- les bouches d'évacuation des eaux usées et des eaux de pluie, y compris les fuites d'éléments nutritifs provenant des systèmes de fosses septiques (*voir* l'encadré ci-dessus)
- les effluents industriels
- les sources agricoles, comme les engrais, le fumier et les boues d'épuration (biosolides), épandus dans les champs ou s'écoulant des contenants de stockage non hermétiques.

**Formes d'éléments nutritifs introduits dans les eaux de surface**

Le phosphore et l'azote atteignent les eaux de surface sous différentes formes. Celles-ci peuvent varier selon leur disponibilité pour la végétation aquatique

| Forme | Sources communes | Disponibilité pour la végétation aquatique |
|---|---|---|
| Phosphore inorganique particulaire | fixé à des particules de sédiment | variable (variant de quelques % à > 75 %) |
| Phosphore minéral soluble | fumier en décomposition, résidus végétaux, engrais, boues d'épuration, eaux usées industrielles | facilement disponible |
| Phosphore organique | sols, résidus végétaux, fumier, boues d'épuration | devient disponible quand la matière organique se décompose |
| Azote organique | sols, résidus de végétaux, fumier, boues d'épuration | devient disponible quand la matière organique se décompose |
| Azote minéral, sous forme de nitrate ou d'ammonium | sols, engrais épandus en surface, fumier en décomposition, résidus végétaux, boues d'épuration, eaux usées industrielles | facilement disponible |

*P. Chambers, Environnement Canada*

Voici quelques données régionales sur les teneurs en éléments nutritifs dans les eaux superficielles. Les estimations de la teneur en azote résiduel (azote demeurant dans le sol après la récolte; *voir* l'encadré, chapitre 4, p. 39) et du risque de contamination de l'eau par de l'azote et du phosphore d'origine agricole (estimations intégrées à un récent rapport d'Agriculture et Agroalimentaire Canada sur le Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux) sont également présentées, s'il y a lieu. Les estimations du risque se limitent à la Colombie-Britannique, au centre du Canada et aux Maritimes pour l'indicateur de la contamination par l'azote (tableau 5-2), et au Québec pour l'indicateur de la pollution par le phosphore. Dans les deux cas, le risque a été calculé mathématiquement au moyen

**Tableau 5-2**
**Risque de contamination de l'eau par l'azote sur les terres agricoles des régions humides du Canada — pratiques agronomiques de 1996**

| Province | Superficie exploitée* (millions d'ha) | Pourcentage des terres agricoles dans les diverses catégories de risque de contamination estimative de l'eau (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Faible (0–6 mg N/L) | Intermédiaire (6,1–14 mg N/L) | Élevé (>14 mg N/L) |
| **Colombie-Britannique** | 0,1 | 6 | 25 | 69 |
| **Ontario** | 4,2 | 39 | 44 | 17 |
| **Québec** | 1,9 | 58 | 35 | 6 |
| **Provinces de l'Atlantique** | 0,4 | 82 | 15 | 3 |

* Par superficie exploitée, on entend la somme de toutes les catégories de terre mentionnées dans le Recensement de l'agriculture, à l'exception de Autres terres.

Source : McRae et al., 2000

**Tableau 5-3**
**Aspects de la qualité de certaines eaux de surface en Alberta**

| Plan d'eau | Niveau d'intensité de la production agricole | Élément nutritif | N[bre] d'échantillons | Pourcentage (%) excédant les seuils de tolérance provinciaux pour la vie aquatique* |
|---|---|---|---|---|
| Cours d'eau (1995–1996) | Intensive | Azote total | 214 | 87 |
| | | Phospore total | 220 | 99 |
| | | Ammoniaque | 70 | 0 |
| | Modérément intensive | Azote total | 343 | 65 |
| | | Phospore total | 341 | 88 |
| | | Ammoniaque | 126 | 0 |
| | Peu intensive | Azote total | 163 | 32 |
| | | Phosphore total | 164 | 89 |
| | | Ammoniaque | 162 | 0 |
| Lacs (1995–1996) | Intensive | Phosphore total | 69 | 96 |
| | Peu intensive | Phosphore total | 23 | 38 |
| Canaux d'irrigation (1977-1996) | | Phosphore total | | |
| Source d'approvisionnement | | | 183 | 16 |
| Écoulement restitué | | | 1 034 | 61 |

* Les seuils de tolérance pour la vie aquatique sont ceux fixés pour la protection de l'environnement par l'Alberta, soit 1 mg/L pour l'azote total et 0,05 mg/L pour le phosphore total, ainsi que la concentration maximale acceptable selon les Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique, soit de 1,13 à 1,81 mg/L pour l'ammoniaque-azote (selon la température et le pH).

Source : CAESA, 1998

de diverses estimations des conditions climatiques, topographiques et pédologiques, ainsi que des pratiques de gestion foncière. Ces indicateurs de risque sont utiles, parce qu'ils dévoilent les tendances générales de la contribution de l'agriculture à la contamination des eaux, mais ne reflètent pas exactement les conditions au champ pour des endroits précis.

**Colombie-Britannique**

En Colombie-Britannique, l'impact des activités agricoles sur la qualité de l'eau est le plus évident dans la vallée du bas Fraser où l'on pratique une agriculture intensive, où la densité des populations animales est très élevée et où les superficies ne sont pas suffisamment grandes pour que l'on puisse épandre tout le fumier produit (*voir* l'encadré, p. 69). Le bilan de l'azote calculé pour cette région indique un excédent net de 4 700 tonnes par année, soit environ 70 kilogrammes d'azote par hectare de terre consacrée à la production agricole.

En plus de se retrouver dans les eaux souterraines (*voir* le chapitre 6), une grande partie de l'azote des champs est perdu par écoulement de surface. Il existe donc beaucoup de possibilités de réduction des pertes d'azote vers les eaux superficielles, notamment par l'amélioration des stratégies de gestion du fumier et des éléments nutritifs à la ferme (*voir* le chapitre 8).

Pendant l'hiver de 1994, on a procédé à un échantillonnage à plusieurs endroits dans le bassin hydrographique de la rivière Sumas. Les teneurs en nitrate et en azote ont fluctué entre 2 et 5 milligrammes par litre d'eau (inférieures aux recommandations canadiennes pour l'eau potable, soit 10 milligrammes par litre). Au moment de l'étude, 70 % des terres agricoles se trouvant dans ce bassin hydrographique étaient occupées par des producteurs laitiers et 17 %, par des producteurs de fruits et de légumes et par des pépiniéristes; 84 % des producteurs laitiers et tous les autres types de producteurs épandaient des engrais commerciaux.

Selon cette même étude, les teneurs en phosphore total ont varié entre 0,043 et 0,265 milligramme par litre d'eau à neuf endroits. Il n'existe aucune ligne directrice canadienne ou provinciale concernant la teneur en phosphore dans les cours d'eau. Pendant l'automne, à plusieurs endroits, la teneur en oxygène dissous était inférieure au seuil recommandé au Canada pour la protection de la vie aquatique. Les correctifs recommandés incluent la recherche de la cause de l'appauvrissement en oxygène.

### Impact des systèmes de fosses septiques sur les eaux de surface en milieu rural

Les fosses septiques avec drains d'épandage ou à monticules sont couramment utilisées comme systèmes d'évacuation des eaux usées domestiques et agricoles en milieu rural. Les systèmes de fosses septiques avec drains d'épandage peuvent empêcher ou non les éléments nutritifs et les agents pathogènes de pénétrer dans les eaux souterraines peu profondes. Les impacts sur l'eau de surface dépendent des caractéristiques du plan d'eau qui reçoit l'eau souterraine. La quantité d'éléments nutritifs arrivant dans les plans d'eau à partir des champs d'épuration dépend

- de la quantité des eaux usées
- de l'efficacité de rétention du champ d'épuration (selon le type de sol et la géologie)
- du taux (et de la distance) de transport des contaminants matériel entre le champ d'épuration et le plan d'eau.

Les eaux usées provenant de systèmes mal entretenus peuvent atteindre les cours d'eau et les lacs par écoulement terrestre.

La mesure dans laquelle les éléments nutritifs sont retenus dans un champ d'épuration dépend de l'âge du champ et des propriétés du sol. En général, les sols à texture fine et très argileux sont plus efficaces pour retenir le phosphore que les sols sablonneux ou très graveleux. Les propriétés chimiques du sol s'avèrent également importantes. Le phosphore se fixe solidement aux sols neutres à acides très riches en fer et en aluminium ou aux sols neutres à alcalins contenant beaucoup de calcium. Règle générale, un champ d'épuration moyen retient environ 20 à 55 % de l'azote et entre 25 et 40 % du phosphore. Les fosses septiques avec drains d'épandage bien conçues peuvent retenir beaucoup plus d'éléments nutritifs (jusqu'à 88 % selon une étude). Cependant, en moyenne 61 % des systèmes vérifiés lors de plusieurs enquêtes dans les chalets en Ontario étaient mal conçus, mal construits ou mal entretenus.

Peu d'études ont porté sur l'incidence des systèmes de fosses septiques sur les cours d'eau, mais l'impact de l'apport en éléments nutritifs des champs d'épuration situés à proximité des lacs a été vérifié dans le cadre de diverses études. Une étude américaine a révélé que les systèmes d'épuration en place fournissent de 1 à 33 % du phosphore total à trois lacs, mais que cet apport n'est pas considéré comme ayant un impact significatif sur la productivité en algues totale. Lors d'une étude sur le lac Pine en Alberta, on considérait que le phosphore dans les eaux usées correspondait à tout au plus 6 % du phosphore total. Cependant, les eaux usées comptaient pour 67 % du phosphore total arrivant au lac Jackfish, près d'Edmonton, parce qu'il s'agit d'un petit bassin hydrographique, où se trouvent de nombreux chalets et où il y a peu d'apport interne. Les cours d'eau et les lacs dans les petits bassins hydrographiques sont plus vulnérables à la pollution due à des systèmes d'épuration mal conçus et mal entretenus.

*A.J. Sosiak, Environment Alberta*

Dans l'ensemble, les concentrations en azote résiduel ont chuté de plus de 5 kilogrammes par hectare sur plus de 50 % des terres agricoles de la Colombie-Britannique entre 1981 et 1996. Pourtant, le risque estimatif de contamination de l'eau associé à des activités agricoles est élevé pour 69 % des terres se

## Étude de cas
## Qualité des eaux de surface dans l'Ontario rural

Des activités lancées dans plusieurs bassins hydrographiques ruraux du sud de l'Ontario ces dernières années ont permis d'extraire certaines tendances de la qualité des eaux superficielles. Une étude publiée en 1999 comparait les données sur la qualité de l'eau des 25 années précédentes dans le comté de Huron, une région très agricole bordant le lac Huron. Elle a révélé ceci :

- les teneurs en phosphore total ont chuté à sept des neuf stations provinciales de contrôle de la qualité de l'eau
- les concentrations de nitrate ont augmenté à six stations
- les numérations des coliformes fécaux sont croissantes à quatre stations
- les trois bassins fluviaux ayant la plus forte densité de population humaine ont toujours donné les plus hautes teneurs pour ces trois indicateurs de la qualité de l'eau
- les cinq bassins fluviaux affichant les concentrations les plus élevées en phosphore et en nitrate ainsi que les numérations de coliformes fécaux les plus hautes regroupaient le plus fort pourcentage de sols mal et imparfaitement drainés
- dans quatre de ces cinq bassins fluviaux se trouvent le plus grand nombre de terres agricoles améliorées, c'est-à-dire où l'agriculture s'est intensifiée
- il n'y avait pas de lien entre les densités de populations animales (bestiaux) et la qualité de l'eau.



Une autre étude menée entre 1993 et 1997 comparait deux petits sous-bassins de drainage agricoles dans le bassin hydrographique du Kintore Creek dans le comté de Oxford, au coeur des meilleures terres agricoles du sud de l'Ontario. Les pratiques de conservation du sol ont été adoptées de manière généralisée au cours des 10 dernières années dans l'un de ces sous-bassins. Les résultats révèlent ce qui suit :

- les concentrations de phosphore total ont diminué dans le sous-bassin de conservation pendant les dégels d'hiver, la fonte des neiges au printemps et les épisodes de précipitations abondantes, quand l'érosion du sol et les sédiments en suspension sont habituellement à leur plus haut niveau
- les teneurs en sédiments en suspension étaient inférieures dans le sous-bassin où l'on pratiquait la culture de conservation durant 28 des 38 orages importants qui ont fait l'objet d'un échantillonnage
- il n'y a pas eu d'amélioration notable de la teneur en nitrate dans le sous-bassin où l'on pratique une agriculture de conservation
- les communautés benthiques (invertébrés vivant au fond de l'eau) échantillonnées dans le sous-bassin de conservation ressemblaient davantage à celles des cours d'eau non perturbés, comparativement au sous-bassin témoin
- les teneurs en atrazine détectées lors de l'échantillonnage continu ont fluctué en moyenne de 0,18 microgramme par litre durant les périodes d'écoulement minimum jusqu'à un maximum de 90 microgrammes par litre pendant une tempête
- la qualité de l'eau lors de l'étiage ne différait pas entre les deux sous-bassins.

Bien que ces résultats ne soient pas exhaustifs, ils montrent que l'adoption de pratiques de conservation des sols réduit les teneurs en sédiments et en phosphore dans les cours d'eau ruraux. Ils révèlent également que les teneurs en nitrate et les numérations bactériennes ne s'améliorent pas dans les cours d'eau de l'Ontario rural, et pourraient même s'aggraver à cause de l'augmentation des populations humaines.

*D. Joy et S. Bonte-Gelok, Université de Guelph*
*C. Merkley, Upper Thames River Conservation Authority*

## Étude de cas
## Rivière Yamaska (Québec)

La rivière Yamaska est un affluent de la rive sud du Saint-Laurent. Elle se déverse dans le lac Saint-Pierre, entre Trois-Rivières et Montréal. Presque un quart de l'activité agricole au Québec a lieu dans son bassin versant, qui couvre 4 784 kilomètres carrés.

Les 20 dernières années, la zone cultivée du bassin est demeurée stable à environ 210 000 hectares, soit 43 % de la superficie totale. Cependant, les activités agricoles dans le bassin de la Yamaska ont grandement évolué. Par exemple,

- le nombre de bestiaux a grimpé de plus de 30 % (passant de 233 000 têtes en 1976 à presque 311 000 en 1996), la densité de la population animale croissant de 1,1 à 1,5 animal par hectare cultivé
- la production porcine, en particulier, a pris de l'expansion, le nombre de porcs augmentant de près de 100 000 à environ 168 000 en 1996, soit 54 % de la production animale dans le bassin
- la superficie cultivée occupée par des cultures à grands interlignes, dont le maïs, le soja et les légumes, est passée de 22 % en 1976 à 58 % en 1996 (les cultures à grands interlignes exigent plus d'engrais et de pesticides que les pâturages et les cultures fourragères, et sont plus sensibles à l'érosion hydrique en raison de l'absence de culture de couverture entre les rangs)
- la superficie réservée à la culture fourragère et aux pâturages correspondait à 57 % des terres cultivées en 1976 contre 32 % en 1996

Les porcs et le maïs sont maintenant les deux plus importantes productions dans le bassin.

La qualité de l'eau demeure mauvaise partout dans le bassin, malgré les améliorations apportées depuis la fin des années 1970 suite aux efforts de nettoyage entrepris par les secteurs urbain, industriel et agricole. Les teneurs en phosphore sont supérieures aux seuils de tolérance recommandés par la province pour la prévention de l'euthrophisation (0,03 milligramme de phosphore par litre d'eau) presque partout dans le bassin. À l'embouchure de la rivière, les concentrations médianes de phosphore total (0,195 mg/L) et d'azote (2,15 mg/L) sont plus élevées que dans tout autre tributaire du Saint-Laurent. Bien que la plupart des variables de la qualité de l'eau affichent des tendances à la baisse de 1979 à 1997, les teneurs en phosphore, en azote, en chlorophylle (indice d'eutrophisation) et en solides en suspension, d'une part, et la turbidité, d'autre part, sont encore parmi les plus élevées au Québec. Les observations faites dans le bassin de la rivière Yamaska laissent supposer un rapport étroit entre les pressions agricoles, qui ont atteint un niveau exceptionnel au Québec, et la qualité de l'eau.

L'agriculture est la principale source d'éléments nutritifs dans le bassin. En particulier, les engrais minéraux épandus sur les terres du bassin fournissent 13 000 tonnes d'azote et 3 800 tonnes de phosphore. Les sources agricoles contribuent jusqu'à environ 70 % de l'azote et 75 % du phosphore charriés par la rivière Yamaska jusqu'au Saint-Laurent. Les agriculteurs du bassin pulvérisent également des quantités considérables de pesticides, soit en moyenne 1,8 kilogramme de substances actives par hectare comparativement à la moyenne provinciale qui est de 1,3 kilogramme.

De 1992 à 1998, les teneurs en atrazine dans la rivière Chibouet, affluent de la Yamaska, dépassait les seuils recommandés pour la protection de la vie aquatique dans 16 à 50 % des échantillons. Environ dix-sept pesticides différents et leurs produits de dégradation ont été détectés chaque année dans cette rivière. Pendant l'été 1998, on a trouvé de l'atrazine, du DEA, du métolachlor et du bentazone dans 100 % des échantillons, ainsi que du DIA, du diméthénamide, du dicamba et du 2,4-D dans plus de 75 % des cas. À l'occasion, les concentrations en métholachlor, en cyanazine, en métribuzine, en MCPA, en MCPB et en diméthénamide étaient supérieures aux seuils recommandés pour la qualité de l'eau. Même lorsque les pesticides sont détectés en faibles concentrations, la présence de plusieurs de ces produits soulève des craintes quant à la possibilité des effets cumulés ou synergiques toujours inconnus sur la vie aquatique.

Les mesures prises pour améliorer la qualité de l'eau de la rivière Yamaska incluent

- un programme en vigueur depuis 1988 pour la construction de citernes de stockage du lisier
- la réglementation de l'épandage du fumier
- les efforts destinés à optimiser le potentiel agronomique du fumier (p. ex. création d'une agence pour la gestion des engrais organiques, amélioration de la distribution et de l'utilisation)
- des efforts pour réduire l'application de pesticides et promouvoir la lutte intégrée contre les ravageurs et les mauvaises herbes
- la promotion des pratiques de conservation des sols, comme le sous-solage, le travail du sol sur billon et la culture sans labours, que l'on applique maintenant sur 20 % de la superficie cultivée.

D'autres améliorations de la qualité des eaux de la Yamaska dépendent de la constante promotion et de l'adoption de bonnes pratiques agricoles, en particulier celles qui réduisent l'utilisation des engrais minéraux.

*J. Painchaud, ministère de l'Environnement du Québec*

## Effet des dépôts atmosphériques sur la qualité des eaux de surface

De nombreux produits chimiques, y compris des acides, des métaux et des contaminants organiques, sont déposés de l'atmosphère sur la terre ou sur l'eau, soit par précipitation (dépôt humide), soit sous forme de particules ou de gaz (dépôt sec). Les produits chimiques provenant de l'atmosphère peuvent pénétrer les eaux de surface directement (ce qui est important dans le cas des lacs, en particulier ceux dont la période de rétention de l'eau ou de stagnation est longue) ou sous forme d'écoulement de surface. La plus grande partie des produits transportés par l'atmosphère provient de l'extérieur du Canada.

Les pluies acides sont causées par l'émission et par le transport atmosphérique de soufre et de polluants azotés. Sauf quelques exceptions locales, l'acidité des dépôts atmosphériques est plus élevée dans les régions canadiennes à l'est de la frontière entre l'Ontario et le Manitoba et au sud de la baie James. Les meilleures terres agricoles au Canada (qui se trouvent dans les Prairies, le sud de l'Ontario, les vallées de la rivière Outaouais et du Saint-Laurent et dans les champs régulièrement chaulés de l'Île-du-Prince-Édouard, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse) sont celles qui sont les plus à même de posséder les propriétés nécessaires pour neutraliser cette acidité. Par conséquent, on observe rarement une acidification des eaux de surface dans les principales régions agricoles. Même si le sol perd progressivement sa capacité de neutraliser l'acidité à cause du lessivage des cations basiques, il est probable que les amendements calcaires ou autres du sol, destinés à accroître le rendement des cultures, seront appliqués longtemps avant que l'on observe des signes d'acidification des eaux de ruissellement.

Les teneurs en métaux des dépôts atmosphériques sont beaucoup plus faibles que celles de plusieurs amendements courants, comme le superphosphate, les boues d'épuration ou le fumier de vache. Tant que les conditions du sol n'entraînent pas de ruissellement acidifié, les métaux ajoutés au sol sont en grande partie retenus. Cependant, si le sol s'acidifie, les métaux accumulés peuvent être mobilisés et lessivés dans les eaux superficielles ou souterraines.

De récentes études montrent que l'atmosphère est également un mode de transport important de contaminants organiques des eaux rurales. Cela est particulièrement vrai pour les polluants organiques persistants, comme les anciens insecticides organochlorés (p. ex. DDT) et les composés industriels comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les biphényles polychlorés (BPC), qui tous se dissolvent très mal dans l'eau et qui sont facilement adsorbés par les particules. Les nouveaux pesticides sont généralement hydrosolubles, moins fermement adsorbés par la matière particulaire et moins persistants tant en milieu terrestre qu'aquatique. On les trouve encore toutefois dans les eaux de pluie à beaucoup d'endroits.

Les contaminants organiques diffèrent de la plupart des acides et des métaux, du fait qu'ils se volatilisent également du sol ou des eaux de surface. La volatilisation des pesticides après leur pulvérisation constitue une source majeure expliquant la présence de résidus dans les eaux superficielles, même si ces produits n'ont pas été utilisés localement ou pendant de nombreuses années. Selon le type du pesticide, sa pression de vapeur à la surface du sol ou de l'eau, sa solubilité dans l'eau et le taux de lessivage de surface, moins de 1 à 90 % d'un pesticide appliqué peut se volatiliser dans les quelques jours qui suivent son application.

*D. Jeffries, Institut national de recherche sur les eaux*

trouvant dans la partie humide de la province (soit environ 5 % des terres agricoles de la Colombie-Britannique) (*voir* le tableau 5-2).

**Provinces des Prairies**

Dans les Prairies, le climat sec rend les étangs et les petits lacs particulièrement vulnérables à une accumulation excessive de phosphore et, dans une moindre mesure, d'azote. L'analyse des sédiments des lacs indique que certains lacs des Prairies étaient eutrophes avant l'arrivée des Européens, à cause des sols naturellement riches en éléments nutritifs, de longues périodes de stagnation et de taux d'évaporation élevés.

Selon une récente étude de la qualité des eaux superficielles menée en Alberta, les teneurs en azote et en phosphore dépassaient souvent les seuils provinciaux recommandés provisoirement (les recommandations canadiennes n'incluent pas l'azote total ni aucune forme de phosphore) pour la protection de la vie aquatique dans les cours d'eau, les lacs et les canaux d'irrigation, même dans les régions où l'on pratique une agriculture peu intensive (tableau 5-3). Dans un petit sous-bassin d'un cours d'eau albertain soumis à la culture intensive, la quantité d'azote et de phosphore perdus par écoulement de surface pendant deux ans se chiffrait à environ 13 % pour l'azote et à environ 4 % pour le phosphore épandus sous forme d'engrais. De plus, une autre étude portant sur de petits bassins hydrographiques agricoles du Manitoba a démontré que les teneurs en azote ne dépassaient jamais les seuils de tolérance nationaux (*voir* Étude de cas — South Tobacco Creek, p. 50).

Selon une récente étude menée en Saskatchewan, à la fonte des neiges, les concentrations de nitrate dans les eaux de ruissellement provenant de champs en jachère ont toujours excédé celles des eaux s'écoulant des champs cultivés. Ces concentrations se situaient habituellement à l'intérieur des limites recommandées pour l'eau potable, bien qu'à un endroit, une année où le volume de l'écoulement de surface était faible, les teneurs en nitrate de ces eaux après la fonte des neiges dans les jachères ont dépassé les seuils recommandés au Canada pour la qualité de l'eau potable.

En plus d'être eutrophes, de nombreux lacs des Prairies foisonnent d'algues toxiques. On a d'ailleurs observé de temps à autre l'empoisonnement des bestiaux, de la faune et des animaux de compagnie à la suite de la consommation de toxines *cyanobactériennes* présentes dans les sources d'approvisionnement en eau. Toutefois, ces intoxications ont été signalées avant que les

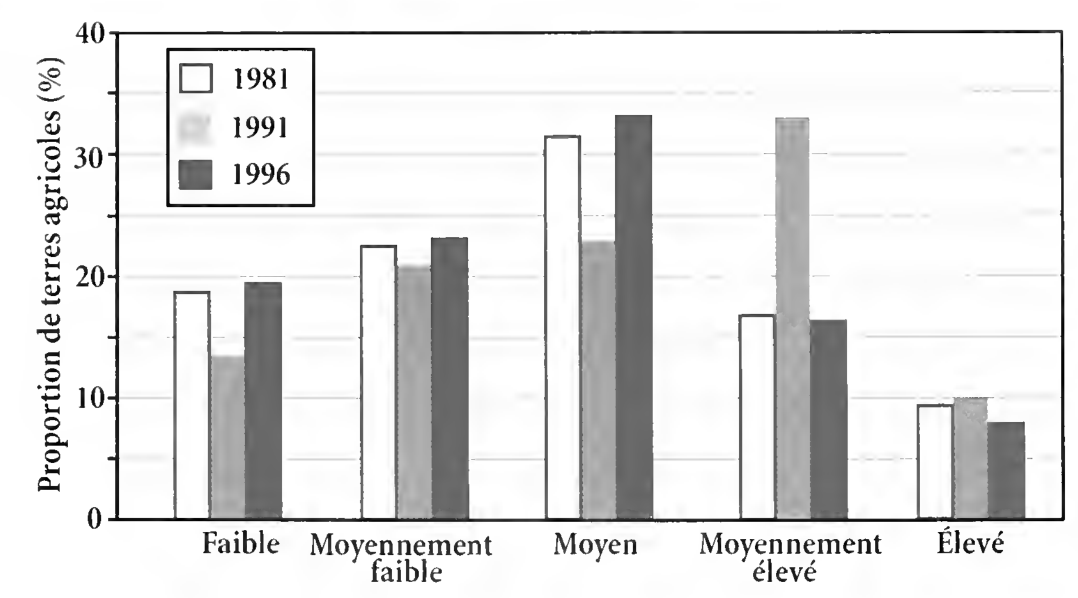
agriculteurs ne commencent à épandre des engrais minéraux et avant l'apparition des élevages intensifs. On ne sait pas encore comment les éléments nutritifs additionnels de source agricole et autres influent sur ces algues.

Les valeurs de l'indicateur pour les teneurs en azote résiduel montrent qu'en Alberta, 88 % des terres agricoles se trouvent dans les deux catégories inférieures (moins de 40 kilogrammes d'azote par hectare), contre 92 % en Saskatchewan et 69 % au Manitoba (*voir* l'encadré, p. 39). L'effet conjugué de ces concentrations relativement faibles de l'azote dans le sol et des conditions semi-arides presque généralisées dans les Prairies maintient le risque de contamination de l'eau par l'azote plutôt bas dans cette région. Toutefois, les indicateurs ne sont pas suffisamment sensibles pour évaluer des régions particulières, comme celles où l'on pratique l'élevage intensif qui, on le sait, accentue localement le risque de contamination de l'eau.

**Centre du Canada**

Une récente enquête menée dans le sud-ouest ontarien a révélé que les teneurs en nitrate étaient à la hausse dans un bassin hydrographique où l'on pratique une culture plus intensive et où la population résidentielle rurale s'est élargie (*voir* Études de cas sur la qualité des eaux de surface dans l'Ontario rural). Par contre, les teneurs en phosphore ont semblé diminuer, probablement à cause de l'adoption de pratiques culturales de conservation, qui réduisent l'érosion du sol et la migration connexe du phosphore.

L'analyse des eaux des rivières dans les bassins agricoles du sud-ouest du Québec, menée de 1979 à 1994, montre que les concentrations en phosphore total de la plupart des échantillons dépassaient les seuils provinciaux recommandés de 0,03 milligramme par litre et que l'agriculture en était la principale cause. L'analyse des données au moment de l'étude a aussi révélé que les teneurs en nitrate augmentaient. Ainsi, une analyse des eaux de la rivière Yamaska a montré que 16 % des échantillons d'azote ammoniacal dépassaient la mesure recommandée de 0,5 milligramme par litre (*voir* Étude de cas — Rivière Yamaska, p. 57). Les concentrations en ammonium étaient généralement plus élevées après l'épandage de fumier, d'engrais azotés ou des deux. Des améliorations récemment apportées au stockage du fumier et un emploi réduit et plus adéquat des engrais minéraux ont fait chuter les teneurs en ammonium.




Source : McRae et al., 2000

**Figure 5-3**
**Évolution du risque de contamination de l'eau par le phosphore dans les terres agricoles du Québec entre 1981 et 1996**

En 1996, 37 % des terres agricoles ontariennes se rangeaient dans la catégorie supérieure pour l'azote résiduel (plus de 60 kilogrammes d'azote par hectare), pour laquelle le risque environnemental est élevé, contre 28 % au Québec. Les taux d'azote résiduel dans le sol ont grimpé d'au moins 5 kilogrammes par hectare pour la majorité des terres agricoles de l'Ontario (69 %) et du Québec (71 %) de 1981 à 1996, à cause de l'intensification de la production agricole.

Au Québec, en 1996, le risque de contamination de l'eau par du phosphore d'origine agricole était faible, moyen et élevé pour respectivement 19, 73 et 8 % des terres agricoles (fig. 5-3). La plupart des régions



*Épandage de pesticides*

à risque moyen ou élevé étaient situées dans les basses terres du Saint-Laurent et dans la région au sud de Québec, où l'agriculture est intensive.

**Provinces de l'Atlantique**

À la fin des années 1980, dans le Canada Atlantique, on a procédé à un dosage des nitrates dans 95 plans d'eau de surface utilisés comme source municipale d'approvisionnement en eau potable. Vingt-cinq pour cent de ces plans d'eau se trouvaient dans des régions de production agricole modérée à forte. Les teneurs en nitrate et en azote n'ont jamais dépassé 10 milligramme par litre, ce qui est bien inférieur aux seuils recommandés au Canada, soit 10 milligrammes par litre d'eau potable.

Les concentrations en nitrate dans les eaux superficielles sont les plus élevées dans les petits bassins hydrographiques où l'on pratique une agriculture intensive, comme celui du Black Brook au Nouveau-Brunswick, qui est une importante région de culture de la pomme de terre (voir Étude de cas — Black Brook. p. 49). De même, on a obtenu des teneurs en nitrate de l'ordre de 1 à 25 milligrammes par litre pendant de courtes périodes dans les eaux provenant des réseaux de drainage souterrains que l'on trouve couramment sous les champs en culture dans le Canada Atlantique. Ces eaux évacuées sont normalement diluées par le plan d'eau récepteur. Dans les provinces de l'Atlantique, l'eau de plus de 80 % des terres agricoles présentait un faible risque de contamination par l'azote en 1996 (tableau 5-2). Cependant, le taux estimé d'azote dans l'eau a augmenté d'au moins 1 milligramme par litre dans 60 % des terres agricoles entre 1981 et 1996.

## Pesticides

L'écoulement de surface sur les terres agricoles constitue une voie importante d'introduction des pesticides dans les eaux de surface. De récentes études ont démontré que les produits chimiques organiques, comme les insecticides organochlorés plus anciens, peuvent pénétrer dans les eaux superficielles par transport à distance des polluants atmosphériques (*voir* l'encadré, p. 58). Les connaissances sur les dépôts atmosphériques de la génération nouvelle de pesticides sont encore très limitées. Les concentrations de pesticides dans les eaux superficielles varient considérablement d'une région à l'autre du Canada, ainsi qu'au sein d'une même région.

**Colombie-Britannique**

De 1995 à 1996, on a comparé les pertes de pesticides par écoulement de surface suivant deux épandages de fumier dans des champs de maïs à ensilage sur la côte sud de la Colombie Britannique. Les cultures de couverture d'hiver sur lesquelles on a appliqué du fumier à l'automne ont perdu par ruissellement 6 grammes d'atrazine par hectare. Par contre, les parcelles cultivées de manière plus classique (fumier épandu à l'automne et laissé en surface sans culture de couverture) ont perdu 10 grammes d'atrazine par hectare par ruissellement. On n'a pas observé de différence pour les pertes en métolachlor (5 grammes par hectare). Les concentrations moyennes en atrazine provenant des terres traitées selon des méthodes classiques étaient supérieures aux taux recommandés au Canada pour la protection de la vie aquatique, mais celles associées à l'utilisation d'une culture de couverture d'hiver ne l'étaient pas. Les teneurs moyennes en métolachlor étaient inférieures aux seuils de tolérance établis, et ce, pour les deux systèmes d'exploitation. On constate que les fabricants ont récemment volontairement modifié les profils d'emploi autorisés pour l'atrazine, afin d'améliorer la qualité de l'eau. Quant à la formulation originale de métolachlor, elle a été vonlontairement retirée du marché au Canada.

**Provinces des Prairies**

Dans les Prairies, on utilise relativement peu de pesticides par hectare comparativement aux autres régions agricoles. Bien que ce niveau d'application réduise considérablement le risque de contamination des eaux de surface par de grandes quantités de pesticides, plusieurs facteurs observés dans cette région rendent les eaux superficielles vulnérables à ce type de contamination. Par exemple,

- l'écoulement de surface est faible dans de nombreux bassins hydrographiques des Prairies, de sorte que les teneurs en pesticides dans les eaux de ruissellement peuvent être relativement élevées
- la sécheresse superficielle et les longues périodes de gel réduisent considérablement la dégradation des pesticides par les microorganismes
- c'est habituellement en juin et en juillet que les pluies sont les plus abondantes, et c'est pendant cette période que l'on épand la plupart des pesticides.

Les plus grandes pertes de pesticides épandus en surface dans les Prairies semblent attribuables à la volatilisation dans l'atmosphère. En général, la

plupart des pesticides trouvés dans les eaux superficielles sont d'origine atmosphérique, mais dans certains cas, la présence de ces produits en fortes concentrations est due au ruissellement. La présence occasionnelle de teneurs élevées en pesticides à la fonte des neiges s'explique par l'accumulation des pesticides d'origine atmosphérique dans le manteau neigeux.

Dans les années 1960 et 1970, dans les Prairies, les eaux de surface contenaient des teneurs relativement élevées en alpha-HCH, un insecticide qui n'est employé ni au Canada, ni aux États Unis, et qui serait arrivé par transport atmosphérique, probablement des pays asiatiques où les agriculteurs l'utilisent en grande quantité. Au cours des dernières décennies, les concentrations d'alpha-HCH ont diminué dans les eaux des Prairies et ailleurs dans l'hémisphère nord, probablement parce que cet insecticide a été remplacé par le lindane que l'on trouve partout sur la planète, souvent dans des régions éloignées des zones d'application, ce qui démontre clairement que le transport atmosphérique est réel. Selon les résultats de recherches menées en 1997, cet insecticide s'accumule dans les écosystèmes de l'Arctique (p. ex. dans l'eau, le poisson et la faune), ce dont s'inquiètent les Canadiens vivant dans les régions septentrionales. On applique le lindane dans les Prairies pour traiter les semences de canola.

On détecte souvent les pesticides dans les écoulements d'irrigation, les ruisseaux, les rivières, les lacs et les terres humides. À l'exception de ces dernières, les concentrations sont habituellement inférieures aux seuils recommandés pour la qualité de l'eau. Selon des travaux de recherche publiés en 1999, les teneurs en certains pesticides dans de nombreuses prairies palustres dépassent les seuils de tolérance recommandés pour la protection de la vie aquatique, et ce, après les pluies abondantes à la fin de juin et au début de juillet. Par exemple, en 1993, les eaux d'environ 24 % des petits marécages de la Saskatchewan affichaient des teneurs en pesticides supérieures aux limites recommandées. Ainsi, les concentrations de lindane et de triallate excédaient la plupart du temps les seuils établis (0,01 et 0,24 microgramme par litre respectivement).

Lors d'une étude menée récemment en Alberta (1992-1996), on a trouvé des pesticides dans 44 % des échantillons prélevés dans les cours d'eau et dans 51 % de ceux prélevés dans les lacs. Selon les

**Tableau 5-4**
**Qualité de l'eau et présence de pesticides dans quatre rivières situées dans les régions de culture intensive du maïs au Québec, de 1992 à 1995**

| Pesticide | Fréquence de détection 1992–1995 (%) | Fréquence de dépassement des *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux* (%) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Recommandations pour la vie aquatique | | | | Recommandations pour l'eau potable | | | |
| | | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
| **Herbicides : Atrazine** | 100 | 43 | 36 | 23 | 16 | 22 | 12 | 10 | 6 |
| **Métolachlor** | 94 | 0 | 2,5 | 2,8 | 1,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Cyanazine** | 67 | 0 | 0,8 | 2,1 | 1,4 | 0 | 0 | 0,7 | 0 |
| **Insecticides : Carbaryl** | 6 | 0 | 0 | 8,5 | 5,6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Diazinon** | 3 | 0 | 0 | 4,3 | 6,3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Malathion** | 2 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Azinphos-méthyl** | 2 | 0 | 8,8 | 4,3 | 1,4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Chlorpyrifos** | 1 | 0 | 0 | 0 | 3,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Nota : On a prélevé au total 441 échantillons. Sept autres herbicides (composés phénoxy et benzoïques) ont également été détectés, mais leurs concentrations ne dépassaient pas les seuils recommandés par le Canada pour la qualité de l'eau. Parmi ceux-ci, le dicamba, le 2,4-D, le mécoprop et le MCPA ont été détectés à une fréquence respective de 66,4, de 59,1, de 44,3 et de 31,2 %. Six autres pesticides ont aussi été trouvés dans 3 à 67 % des échantillons, en quantité inférieure aux *Recommandations canadiennes sur la qualité de l'eau*. Quatre autres pesticides pour lesquels il n'existe pas de seuils qualitatifs recommandés, ont été trouvés en traces (moins de 0,2 à 20 % des échantillons).

Source : Giroux et al., 1997

analyses, ces teneurs étaient inférieures aux seuils recommandés pour la qualité de l'eau potable. Toutefois, deux des 115 échantillons ont donné des résultats supérieurs aux seuils recommandés pour la protection de la vie aquatique. De plus, les seuils de tolérance établis pour l'eau d'irrigation étaient plus souvent dépassés. Ainsi, les teneurs en herbicide MCPA dépassaient les seuils de tolérance pour l'eau d'irrigation dans 25 % des échantillons prélevés dans les cours d'eau et les lacs des bassins hydrographiques où l'on pratique une agriculture intensive et modérément intensive. En outre, les concentrations d'un autre herbicide, le dicamba, étaient supérieures aux limites établies pour l'eau d'irrigation dans 6 et 9 % des échantillons prélevés dans les cours d'eau et les lacs respectivement. En général, on trouve plus fréquemment des pesticides en fortes concentrations dans les bassins hydrographiques où l'on pratique l'agriculture intensive.

L'effluent d'irrigation analysé en Saskatchewan de 1994 à 1996 contenait parfois les herbicides dicamba, MCPA et diclofop en concentrations supérieures aux seuils recommandés pour la protection de la vie aquatique. Les teneurs maximales de ces pesticides dans l'effluent d'irrigation dépassaient également les seuils établis pour l'eau d'irrigation. Plusieurs études menées au Manitoba (p. ex. bassins hydrographiques du Cooks Creek et du South Tobacco Creek, ainsi que de la rivière Rouge et de huit de ses tributaires) ont permis de détecter des herbicides dans les eaux superficielles. Toutefois, les concentrations de ces produits étaient généralement inférieures aux seuils canadiens recommandés pour la protection de la vie aquatique.

Les pesticides contaminant les eaux de surface dans les Prairies ne sont pas tous d'origine agricole. Par exemple, on a trouvé des concentrations élevées d'herbicides, notamment du 2,4-D, en aval d'Edmonton et de Winnipeg, puis en amont de ces villes. Cette hausse a été attribuée à l'application de 2,4-D sur les pelouses, dans les parcs et sur les terrains de golf. Certains cas de contamination des eaux de surface ont été attribués à la lutte contre les mauvaises herbes poussant dans les fossés en bordure des routes et sur les emprises de chemin de fer.

### Épandage des boues d'épuration sur les terres agricoles

Les boues d'épuration sont un sous-produit organique du traitement des eaux usées. Appelé aussi biosolides, ce matériel organique est utile pour l'amendement des sols, parce qu'il contient de l'azote, du phosphore et d'autres éléments nutritifs des végétaux. Il enrichit le sol en matière organique. L'épandage de boues d'épuration sur les terres constitue une méthode efficace de recyclage des résidus organiques et comporte des avantages économiques tant pour la collectivité agricole que pour les contribuables des municipalités.

En Ontario, les chercheurs de l'Université de Guelph et de la Station de recherches d'Elora ont mené des études sur la qualité du sol et de l'eau dans les années 1970 pour évaluer le mouvement des agents pathogènes, des métaux, des composés organiques et des éléments nutritifs des terres en pente de diverses inclinaisons, sur lesquelles on avait épandu des boues d'épuration. Selon les résultats, il ne faut pas se soucier de la qualité des eaux en aval lorsque les pratiques d'application sont conformes aux lignes directrices établies pendant ces études. De plus, les recommandations ont été depuis révisées et sont parmi les plus strictes au monde.

Plus de 80 % des municipalités ontariennes ont lancé des programmes d'utilisation des terres qui prévoient chaque année l'épandage de plus de 1,5 million de tonnes de biosolides sur 13 000 hectares de terres agricoles. Le gouvernement ontarien appuie cette pratique à condition que

- le traitement des biosolides donne un matériel organique stable
- les taux d'application reposent sur les besoins de la culture
- les municipalités analysent les biosolides pour en doser les teneurs en azote, en phosphore et en métaux, et que les quantités de ces composés ne dépassent pas les seuils recommandés
- les biosolides ne soient épandus que sur les sols qui s'y prêtent, conformément aux recommandations
- les distances d'éloignement par rapport aux résidences, aux puits et aux sources d'approvisionnement en eau soient conformes aux critères topographiques.

Aujourd'hui, de nombreuses municipalités canadiennes épandent des biosolides sur des terres agricoles. L'Ontario, le Manitoba, l'Alberta et le Québec ont préparé des lignes directrices à cet égard. Le Nouveau-Brunswick, la Colombie-Britannique, la Saskatchewan et la Nouvelle-Écosse sont en voie de le faire.

*P. Sidhwa, Terratec Environmental Ltd.*

### Centre du Canada

On trouve plus fréquemment des pesticides dans les eaux de surface dans les régions humides du Canada que dans les Prairies. Ici, les pertes totales mesurées de pesticides se retrouvant dans les eaux superficielles représentaient 1 à 2 % de la quantité épandue.

Selon une étude menée de juin à novembre 1998 sur huit affluents du lac Érié, au moins un pesticide était présent dans chaque cours d'eau pendant cette période. De plus, on a détecté l'un ou l'autre des herbicides atrazine, métolachlor et dicamba ou plusieurs d'entre eux, dans six des huit rivières et ruisseaux, surtout en juin et en juillet. Les teneurs détectées étaient habituellement inférieures aux lignes directrices canadiennes sur la qualité de l'eau

pour la vie aquatique. Des études menées entre 1991 et 1994 sur des superficies de la dimension d'un champ de maïs dans l'est de l'Ontario, ont révélé que l'atrazine, que l'on pulvérise couramment sur cette culture, était présente dans la plupart des échantillons d'eau drainée souterrainement, mais à des concentrations généralement inférieures aux *limites maximales provisoirement autorisées au Canada*, soit 5 microgrammes par litre.

On a dosé les insecticides dans deux cours d'eau coulant dans la région productrice de fruits du Niagara en Ontario en 1996 et en 1997. On y a détecté régulièrement quatre insecticides (azinphos-méthyl, diazinon, chlorpyrifos et endosulfan), et ce, dans 15 à 97 % des échantillons. Les concentrations des quatre insecticides dépassaient fréquemment les seuils de tolérance qualitatifs établis par le Canada pour la protection de la vie aquatique ou, en l'absence de ces seuils, les objectifs de qualité de l'eau fixés par l'Ontario pour la vie aquatique (46–100 % des détections). On trouvait des insecticides dans l'eau plus fréquemment pendant les périodes d'application, et la présence de ces produits dans l'eau pouvait aussi être due à la dérive des produits pulvérisés. Par contre, dans la région de culture légumière intensive en sol organique du Holland Marsh, où l'on applique les insecticides en abondance, une étude menée de 1991 à 1993 a révélé la présence moins fréquente de pesticides analogues, et ce, en concentrations inférieures dans la rivière Holland.

Dans le fleuve Saint-Laurent et ses affluents, on a trouvé de nombreux pesticides, en particulier des herbicides du groupe des triazines, comme l'atrazine, et du groupe des acides chlorophénoxyacétiques, comme le 2,4-D (tableau 4, *voir* également Étude de cas — Rivière Yamaska). Dans certaines rivières baignant des terres où l'on pratique une agriculture intensive, les concentrations d'atrazine ont dépassé de plus de 60 % les seuils établis pour la protection de la vie aquatique pendant la période de vérification estivale. Les teneurs en de nombreux autres pesticides ont parfois dépassé les seuils de tolérance établis par le Canada pour la vie aquatique (<1 à 9 % du temps). Selon d'autres études menées dans l'est ontarien, les concentrations d'atrazine et de métolachlor tendaient à être plus élevées pendant les périodes pluvieuses de mai, de juin et de juillet, soit quand on pulvérise souvent ces herbicides sur le maïs.
On a mesuré la teneur en atrazine et en métolachlor dans les précipitations à neuf endroits dans le bassin des Grands Lacs canadiens d'avril à décembre 1995. On a détecté les deux pesticides régulièrement aux neuf sites pendant cette période. De plus, la détection de certains pesticides à des endroits où on ne les avait pas utilisés prouve que le transport atmosphérique est réel dans la région.

Comme dans la région des Prairies, les centres urbains contribuent également à la pollution des eaux de surface par les pesticides. Les prélèvements réalisés à Guelph, à Hamilton et à Toronto en 1998 ont révélé la présence d'herbicides et d'insecticides dans le ruissellement urbain. Les teneurs maximales de deux insecticides, soit le diazinon et le chlorpyrifos, dépassaient les objectifs qualitatifs ontariens pour la protection de la vie aquatique.

**Provinces de l'Atlantique**

Dans les provinces de l'Atlantique, on a échantillonné 150 sources municipales d'eau potable pour doser divers pesticides (insecticides à base de carbamate, insecticides organochlorés et organophosphorés) vers la fin des années 1980. Des 95 sources dérivant des eaux de surface (dont 25 % se trouvaient dans des zones d'agriculture modérément intensive à intensive), on n'a décelé aucun carbamate, mais on a détecté des produits organochlorés en très faibles concentrations (moins de 0,01 microgramme par litre). On a toutefois détecté parfois des insecticides organophosphorés en concentrations égales aux seuils de tolérance établis ou avoisinant ceux-ci.

Dans une étude connexe sur la présence d'herbicides à base de triazine dans les eaux de surface de certains bassins hydrographiques agricoles entre 1983 et 1989, seule l'atrazine a été détectée (dans 38 des 125 échantillons) à des concentrations fluctuant entre 0,01 et 0,34 microgramme par litre. Ces taux sont bien au-dessous des limites recommandées au Canada pour tout type d'utilisation. Dans un cas, la teneur en atrazine dans l'eau à la sortie d'un seul drain souterrain dans un petit ruisseau atteignait 14 microgrammes par litre, ce qui est bien supérieur aux seuils établis pour l'eau potable. Toutefois, la concentration d'atrazine dans le cours d'eau à cette sortie était de 2 microgrammes par litre, et l'on n'a observé aucun effet nocif sur le plancton à 50 mètres en aval. Il faut noter que l'emploi de l'atrazine n'est pas généralisé dans le Canada Atlantique, parce que les superficies consacrées à la culture du maïs sont restreintes.

## Agents pathogènes

Étant donné l'intensification de l'élevage, la présence d'organismes pathogènes dans les eaux d'origine agricole devient de plus en plus préoccupante. Dans le bassin hydrographique de la rivière Sumas en Colombie-Britannique, où la production laitière domine, le nombre le plus probable de coliformes fécaux varie en moyenne de 42 à 709 par 100 millilitres d'eau, et presque toutes les analyses ont donné des résultats supérieurs aux seuils recommandés par le Canada pour la qualité de l'eau potable et de l'eau d'irrigation. Les numérations étaient de 2 à 8 fois plus élevées les jours de pluie que par temps sec. De plus, ce sont les eaux de la rivière Sumas qui étaient les plus contaminées, ce qui les rendaient impropres à l'irrigation des légumes consommés crus.

Lors de l'analyse des eaux de 27 cours d'eau en Alberta en 1995 et en 1996, plus de 90 % des échantillons ont donné des résultats excédant les seuils recommandés pour la présence de coliformes fécaux dans l'eau potable, mais on n'a pu établir de rapport avec le niveau de production agricole. Un taux plus faible (48 %) d'échantillons ont donné des résultats dépassant le nombre total recommandé d'entérocoques dans les eaux utilisées à des fins récréatives. En Alberta, lors de l'échantillonnage de 112 fosses-réservoirs (couramment utilisées dans les Prairies comme source d'eau domestique à la ferme), 68 % des échantillons contenaient des coliformes fécaux en nombre supérieur aux limites recommandées pour l'eau potable.

Dans une région ontarienne, on n'a pu établir de liens entre l'élevage intensif et l'accroissement des populations de bactéries dans les cours d'eau (*voir* l'Étude de cas — Qualité de l'eau dans l'Ontario rural, p. 56). Cependant, plusieurs études ont démontré une augmentation de la numération des bactéries coliformes dans les eaux de ruissellement des champs engraissés au fumier. Au Québec, l'intensification de la production porcine soulève des craintes concernant la contamination bactérienne des cours d'eau. Cependant, les citernes à lisier construites depuis 1988 ont réduit l'apport direct de lisier dans les cours d'eau (*voir* chapitre 8).

Dans les eaux de surface, on trouve parfois *Cryptosporidium* et d'autres parasites, notamment *Giardia*, quelquefois présents dans les déjections d'animaux sauvages et parfois celles de bestiaux. L'eau ainsi contaminée doit être suffisamment chlorée ou traitée autrement pour la rendre potable pour les humains ou adéquate pour les bestiaux.

L'industrie des mollusques et des crustacés de la côte Est est particulièrement vulnérable à la contamination bactérienne. Les eaux de ruissellement d'origine agricole contenant des coliformes semblent être une importante source diffuse de pollution influant sur la croissance des mollusques et des crustacés dans le Canada Atlantique, et ont été directement pointées du doigt lors de la fermeture de certains établissements.

## Métaux

Selon une étude menée en 1994 sur le bassin hydrographique de la rivière Sumas en Colombie-Britannique, on trouve parfois des métaux en concentrations supérieures aux seuils nationaux ou provinciaux recommandés ou les deux. Ainsi, à deux dates d'échantillonnage, on a détecté des teneurs excédant les limites recommandées par le Canada pour la vie aquatique, et ce, pour le fer total aux neuf sites surveillés et pour l'aluminium total, à huit. Après une semaine très pluvieuse, les teneurs en chrome, en cuivre et en nickel à tous les sites ou à bon nombre d'entre eux dépassaient les tolérances canadiennes et provinciales établies pour la protection du phytoplancton et du zooplancton. De plus, à deux sites, la concentration de chrome était supérieure aux seuils fixés pour la protection du poisson. Toutefois, on n'a pu identifier les sources de ces métaux lourds; il semble qu'il s'agisse d'un niveau de pollution naturelle due aux sols et aux conditions géologiques dans le bassin hydrographique.

En 1992, la contamination des eaux de surface par des métaux lourds était mineure au Québec. Cependant, lors d'une enquête menée entre 1987 et 1990, on a constaté que 10 % des terres agricoles consacrées à la monoculture affichaient des taux élevés de métaux lourds. L'augmentation des teneurs en zinc et en cuivre du sol était associée à une forte densité de population animale et à l'épandage de fumier. Dans les années 1970, seulement un bassin hydrographique sur 11 étudiés en Ontario affichait des taux élevés pour les métaux lourds dans les sédiments et les cours d'eau, à cause des concentrations naturellement élevées de ces éléments dans l'eau souterraine qui pénètre dans les cours d'eau à partir de la roche mère naturellement riche en ces métaux. On n'a pu établir de lien entre les activités agricoles et la présence de métaux lourds dans les eaux de surface lors de cette étude. On s'est interrogé également sur les risques de contamination par les métaux lourds liés à l'épandage de boues d'épuration sur les terres

agricoles. Cette pratique ne semble pas poser problème si on suit les lignes directrices appropriées (voir l'encadré, p. 62).

## Matière organique

La végétation aquatique et le fumier qui atteint les eaux de surface introduisent de la matière organique particulaire ou dissoute dans l'eau. Ces composés donnent souvent à l'eau une couleur, un goût et une odeur indésirables. Si la matière organique particulaire n'est pas complètement éliminée une fois l'eau traitée, les protozoaires parasites des humains, comme *Cryptosporidium*, peuvent s'entourer de matière organique et échapper à la désinfection par le chlore. L'eau chlorée, d'abord traitée pour éliminer la matière organique dissoute, produit un certain nombre de composés présumés cancérigènes, comme les trihalométhanes. Le niveau médian de carbone organique dissous dans de petits réservoirs de la Saskatchewan se situait à environ 11 milligrammes par litre, soit une quantité suffisamment élevée pour produire des trihalométhanes en concentrations excédant les seuils établis pour l'eau potable, si on ne traite pas d'abord l'eau pour éliminer le carbone organique avant la chloration.

## Conclusion

Au Canada, la qualité des eaux de surface varie de mauvaise à bonne. Les impacts de l'agriculture sur les eaux superficielles sont courants, en particulier après une pluie.

En général, le problème de l'érosion hydrique et éolienne des sols s'atténue au Canada, surtout à cause de l'adoption de pratiques agricoles de conservation, comme le travail réduit, le semis direct et la gestion des résidus. Toutefois, les terres agricoles où poussent des cultures en lignes, en particulier les terres accidentées dont les sols sont vulnérables (p. ex. centre sud de la Colombie Britannique, Nouveau-Brunswick et Île-du-Prince-Édouard), demeureront à risque, à moins qu'on ne prenne des mesures pour couvrir le sol et qu'on adopte des pratiques de conservation comme le labour suivant les courbes de niveau et la création de terrasses. Les chiffres sur l'érosion du sol ne donnent qu'un aperçu estimatif de la sédimentation réelle des eaux de surface, sur laquelle il faudrait recueillir davantage de données dans de nombreuses régions agricoles. La réduction des taux d'érosion et de sédimentation aide également à diminuer la quantité d'éléments nutritifs, de pesticides et d'autres substances qui parviennent jusqu'à l'eau, fixés à des particules de sol.

L'eutrophisation causée par l'apport d'éléments nutritifs d'origine agricole a été observée dans la vallée du Fraser en Colombie-Britannique, dans le sud des Prairies, dans des bassins versants des lacs Érié et Ontario, ainsi que sur la rive sud du Saint-Laurent. Même sans connaître exactement dans quelle mesure la charge d'éléments nutritifs pénétrant dans les eaux de surface est d'origine agricole, il est raisonnable de tenter de gérer les éléments nutritifs agricoles correctement, en particulier dans les régions où l'on pratique une agriculture intensive.

Les teneurs en pesticides dans les eaux superficielles varient considérablement d'un bout à l'autre du Canada. Même si l'on détecte des pesticides dans les eaux de surface dans de nombreux bassins hydrographiques agricoles, ces teneurs sont habituellement inférieures aux seuils recommandés par le Canada pour la qualité de l'eau potable mais ne le sont pas pour ce qui est de la protection de la vie aquatique. Des pesticides aéroportés peuvent se déposer sur les eaux superficielles loin de la source. Les teneurs élevées en pesticides dans l'eau sont généralement associées à la culture intensive ou au fait que certains agriculteurs n'appliquent pas de bonnes techniques agronomiques.

L'agriculture s'intensifie de plus en plus et les populations urbaines se déplacent davantage vers les régions rurales. Les résidents en milieu rural continueront d'exiger des eaux de surface de bonne qualité, même s'ils contribuent parfois eux-mêmes à leur pollution. De leur côté, les agriculteurs sont de plus en plus conscients de la qualité des eaux et prennent généralement à coeur de réduire au minimum les effets nocifs de leurs pratiques. De meilleures techniques agronomiques (*voir* le chapitre 8) favorisent l'amélioration de la qualité des eaux de surface, mais les agriculteurs et les résidents en milieu rural doivent maintenir leur engagement à cet égard, pour que ces progrès se maintiennent.

# 6. La qualité de l'eau souterraine

*G.L. Fairchild, D.A.J. Barry, M.J. Goss, A.S. Hamill, P. Lafrance, P.H. Milburn, R.R. Simard et B.J. Zebarth*

**Points saillants**

- La contamination par les nitrates est le principal impact environnemental de l'agriculture sur la qualité de l'eau souterraine. Les nitrates sont une forme soluble de l'azote qui est généralement mal absorbé par les particules du sol et qui peut donc filtrer dans les eaux souterraines s'il n'est pas assimilé par les végétaux. La contamination des eaux souterraines par les nitrates se produit surtout aux endroits où le sol a une texture grossière, dans les régions où l'on pratique la culture irriguée ou à fortes précipitations, de même que dans les régions de culture ou d'élevage intensifs.
- On trouve des pesticides dans les eaux souterraines de la plupart des régions où ils sont utilisés, mais presque toujours nettement en deçà des recommandations sur la qualité des eaux. Certains pesticides détectés ne sont plus utilisés depuis des années, ce qui indique qu'ils persistent dans le sol et se dégradent lentement dans les eaux souterraines. D'autres font leur apparition dans ces eaux peu de temps après avoir été épandus.
- Les analyses de puits réalisées dans tout le pays révèlent que 1 à 44 % des puits ont des concentrations d'azote nitrique supérieures au seuil recommandé pour la qualité des eaux, qui est de 10 mg par litre. La contamination peut provenir de sources ponctuelles, comme les fosses septiques ou les tas de fumier, ou de sources non ponctuelles, comme les champs cultivés sur lesquels on épand du fumier et des engrais. La proportion de puits contaminés par les nitrates est demeurée dans une large mesure inchangée depuis 50 ans en Ontario et en Alberta.
- L'incidence des bactéries dans l'eau des puits semble avoir pratiquement doublé depuis 45 ans en Ontario. Les bactéries s'infiltrent dans l'eau à partir du fumier qui se trouve à la surface du sol par les fissures et les macropores du sol, avant d'atteindre les eaux souterraines. Les eaux de puits au Canada sont plus susceptibles de dépasser les recommandations sur l'eau potable en ce qui a trait aux bactéries plutôt qu'aux nitrates et aux pesticides.

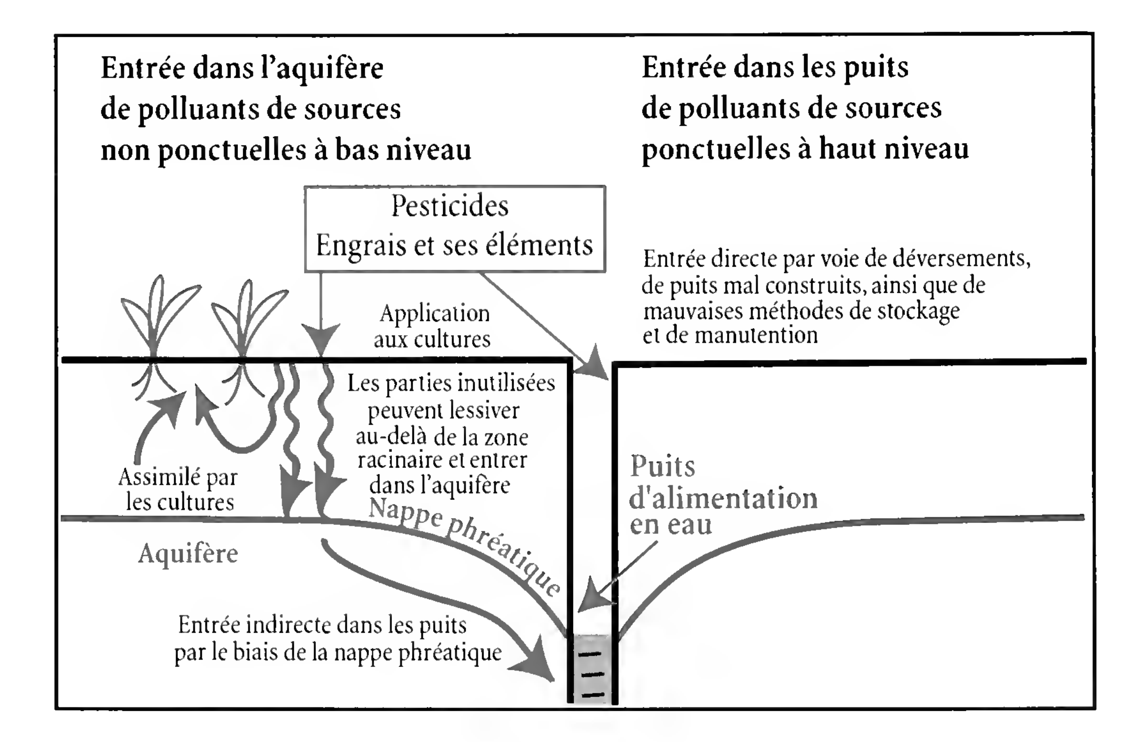
## Introduction

L'eau souterraine provenant de formations aquifères approvisionne en eau potable environ 26 % la population canadienne (données de 1981) et près de 89 % des exploitations agricoles. Elle contribue également, et de manière appréciable, à l'alimentation des terres humides, des cours d'eau et des lacs dans de nombreuses régions du Canada. L'eau souterraine est donc une ressource précieuse qu'il faut protéger contre l'infiltration de substances dangereuses (fig.6-1).

Les produits agrochimiques peuvent pénétrer dans les eaux souterraines

- par une contamination ponctuelle, comme par suintement dans les puits d'eau potable

**Figure 6-1**
**Entrée de produits agrochimiques dans la nappe phréatique**



après des déversements accidentels, à cause d'une mauvaise construction du puits ou de mauvaises méthodes d'entreposage et de manutention des pesticides ou des engrais
- par une *contamination non ponctuelle*, qui affecte de vastes secteurs comme les régions agricoles et les bassins hydrographiques, et qui est provoquée principalement par la lente infiltration des produits agrochimiques dans le profil pédologique et puis dans l'eau souterraine sous les terres arables.

La pollution ponctuelle de l'eau souterraine est généralement localisée, souvent d'origine non agricole, et relativement facile à maîtriser par l'éducation et la réglementation. Le lessivage de sources non ponctuelles est plus difficile à maîtriser, car

- il peut être étendu, sans pour autant affecter toutes les terres agricoles, et, lorsqu'il se produit, c'est souvent à des niveaux très profonds
- la provenance et le mécanisme du lessivage de certaines substances sont mal compris
- il peut survenir même lorsque les pratiques agricoles sont conçues de manière à réduire au minimum la dégradation du sol et de l'eau.



*Irrigation*

Les principaux contaminants agricoles qui filtrent dans l'eau souterraine sont les nitrates, les pesticides et les bactéries. Chacun est analysé ci-après en faisant état des analyses provinciales ou régionales et des recherches qui illustrent les résultats constatés dans différentes régions du pays et sous divers régimes de production.



*Culture intensive*



*Élevage intensif*

## Nitrates

De multiples études réalisées dans le monde démontrent que les concentrations de nitrates dans l'eau souterraine sont souvent plus élevées dans les secteurs où l'on pratique l'agriculture intensive. Les nitrates sont une forme d'azote éminemment soluble qui filtre facilement à travers le profil pédologique.

Le lessivage des nitrates survient particulièrement dans les régions

- où l'on pratique la culture intensive du maïs, de la pomme de terre et de cultures spéciales comme les fruits et les légumes, où l'on épand souvent de grandes quantités d'azote
- d'élevage intensif où le volume de fumier que l'on épand sur le sol fournit une quantité d'azote qui peut dépasser les besoins des cultures
- où l'on pratique l'irrigation, en raison des risques accrus de mouvement descendant de l'eau
- qui reçoivent de fortes précipitations, surtout au printemps ou à l'automne, lorsque l'assimilation de l'eau et des éléments nutritifs par les plantes est faible
- où les méthodes d'épandage d'azote n'ont pas été adaptés aux besoins des cultures
- où le sol est très perméable (p. ex. les sols sablonneux ou les sols à grains fins parsemés de fissures, de trous de vers et de canaux radiculaires) et parvient mal à fixer les composés chimiques, ou les deux.

Sous un régime de pluies donné, les cultures annuelles (qui ont besoin de beaucoup d'azote, sont semées sur un sol nu, possèdent un système radiculaire peu profond et sont récoltées à la fin de l'été ou au début de l'automne) sont plus exposées aux pertes par lessivage que les plantes vivaces (qui assimilent l'azote du sol du début du printemps jusqu'à la fin de l'automne). Si on classe les terres selon l'ordre croissant du risque de lessivage des nitrates, on obtient généralement les terres boisées, les pâturages permanents, les céréales, les herbes à ensilage, les cultures sarclées, les cultures horticoles et les légumineuses, dont on retourne le sol au début de l'automne. Cependant, une analyse des eaux souterraines en Ontario n'a pas révélé d'écarts importants entre les systèmes de culture en matière de lessivage des nitrates.

Les nitrates qui filtrent dans l'eau souterraine qui contient suffisamment de matière organique et le juste amalgame de micro-organismes peuvent être convertis en azote gazeux libéré par la suite dans l'atmosphère. Cette *dénitrification* a pour effet de

### L'agriculture au-dessus de l'aquifère d'Abbotsford–Sumas en Colombie-Britannique

Au-dessus de l'aquifère d'Abbotsford–Sumas, on trouve des terres agricoles productives où vivent une importante population rurale et où l'on pratique l'élevage intensif et la culture des champs. De nos jours, la majeure partie des terres servent à la production de cultures horticoles, notamment les framboises, et une superficie importante est vouée aux pâturages et aux graminées fourragères. L'élevage des poulets à griller et des poules pondeuses domine la production animale, mais on élève également des bovins laitiers et des bovins de boucherie.

On estime que les risques de contamination de l'aquifère par les nitrates ont doublé entre 1971 et 1991, essentiellement à cause

- d'une baisse de la superficie agricole sans diminution correspondante de la production de l'élevage
- d'une désaffection à l'égard de l'élevage des bovins et des bovins laitiers qui nécessite un territoire agricole pour la production de provendes au profit de l'élevage des volailles qui n'en exige pas. Ce changement a contribué à soustraire des terres aux fourrages et aux pâturages qui ont de forts besoins en azote, et à les affecter à la culture des framboises, dont les besoins en azote sont faibles.

L'amalgame d'aviculture intensive et de culture des framboises est la cause principale du lessivage des nitrates provenant des terres agricoles. Tous les aliments pour volaille sont importés de l'extérieur de la vallée du Fraser, ce qui se traduit par une accumulation nette d'azote au-dessus de l'aquifère. Par exemple, à peine 50 % de l'azote importé dans les aliments pour volaille et environ 20 % de l'azote importé dans les aliments pour dindon sont exportés comme produits animaux (viande et oeufs). Une bonne part de l'azote résiduel demeure dans les fumiers animaux. Pour des raisons économiques, ce fumier est souvent transporté sur de courtes distances avant d'être épandu sur les champs.

Les framboises sont la principale culture au-dessus de l'aquifère, de sorte qu'elles reçoivent une bonne part du fumier de volaille. Les besoins en azote des framboises sont généralement faibles, essentiellement à cause du vaste écartement des lignes (3 m) et de la petite quantité d'azote extraite au moment de la cueillette. Cela explique que le potentiel de lessivage des nitrates des champs de framboises amendés par du fumier est très élevé.

Les producteurs et d'autres ont réagi au problème de la contamination de l'aquifère par les nitrates de diverses façons, notamment

- en concevant un programme dirigé par l'industrie en vue d'enlever le fumier de volaille de la région de l'aquifère. En 1997, près de 15 % du fumier produit au-dessus de l'aquifère a été transporté vers des secteurs de la vallée du Fraser à faible densité de bétail ou vers l'intérieur de la province. L'objectif est de transporter environ 50 % du fumier hors du périmètre de l'aquifère
- en mettant au point et en transférant de nouvelles technologies, comme la culture de céréales de couverture entre les rangées de framboisiers pour réduire les pertes par lessivage des nitrates, en épandant du fumier de volaille en fonction des besoins en azote des cultures, en ajustant les taux d'épandage d'engrais à base d'azote pour tenir compte de l'azote du fumier et en utilisant de nouvelles méthodes d'épandage du fumier, comme l'épandage en ligne, qui augmente l'efficacité d'assimilation de l'azote
- en créant l'Abbotsford Aquifer Stakeholder Committee dans la collectivité locale afin de cerner les mesures facultatives que les intervenants peuvent prendre pour aider à réduire le risque de contamination de toutes sources et de lancer de nouvelles initiatives afin de résoudre ces problèmes
- en faisant appliquer les règlements en vue de sensibiliser les producteurs. Par exemple, on a effectué des vols en hélicoptère pour détecter les tas de fumier de volaille non couvert, en automne et en hiver.

*B.J. Zebarth, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

réduire la concentration de nitrates dans les eaux souterraines, mais d'ajouter divers oxydes d'azote dans l'atmosphère, dont certains contribuent à l'*aggravation de l'effet de serre* et peut-être même au *réchauffement planétaire*. L'ampleur de ce phénomène au Canada n'a pas été encore mesurée avec exactitude.

**Colombie-Britannique**

Les formations aquifères sont une source importante d'eau pour les municipalités, l'usage domestique et l'agriculture dans les vallées agricoles de Colombie-Britannique. Les formations aquifères du plateau intérieur et de la majeure partie de la région de Peace River risquent peu d'être contaminées par les nitrates en raison de la faible pluviosité et de l'agriculture relativement peu intensive que l'on y pratique. Dans le sud de la Colombie-Britannique, toutefois, certains aquifères courent des risques modérés à élevés de contamination par les nitrates à cause

- de l'élevage intensif et de la culture intensive, ou des deux
- de l'irrigation
- de la prédominance de sols sablonneux à texture grossière.

Les aquifères du Lower Mainland sont particulièrement vulnérables, car cette région reçoit

### Analyse de la qualité des eaux souterraines des exploitations agricoles de l'Ontario

En 1991 et 1992, Agriculture et Agroalimentaire Canada a commandité une analyse de la qualité de l'eau dans les puits d'eau potable des exploitations agricoles. L'analyse a été réalisée par un consortium formé de l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario, des universités de Guelph et de Waterloo, et des ministères de la Santé, de l'Environnement, ainsi que du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. Quatre puits agricoles ont été sélectionnés dans chaque canton où plus de 50 % de la superficie était affectée à l'agriculture. Ailleurs, on a échantillonné un puits par canton. Dans chaque canton, les types d'activités agricoles et les sols dominants ont été d'autres critères de sélection. Chaque foyer agricole participant à l'analyse a répondu à un questionnaire sur la construction de son puits, la distance par rapport aux sources possibles de contamination ponctuelle (champs d'épuration et fosse septique, parcs d'engraissement ou d'exercice et fosses à fumier), l'utilisation de fumier et d'engrais, le système de culture, l'utilisation de pesticides et l'entreposage d'hydrocarbures. Le réseau englobait près de 1 300 des 500 000 puits que compte l'Ontario.

Aucune des sources ponctuelles étudiées ne semble contribuer de manière appréciable au niveau général de contamination des puits domestiques agricoles par l'azote de nitrates. Selon les données cumulatives, on n'a décelé aucun rapport entre la distance séparant le puits des sources ponctuelles possibles et l'incidence de la contamination par les nitrates.

La contamination des eaux souterraines avait un rapport avec le type, la profondeur et l'âge du puits. La contamination était plus fréquente

- dans les puits ordinaires, forés à la tarière ou foncés que dans les puits forés à la sondeuse, peu importe la profondeur
- à des profondeurs moindres dans tous les puits
- dans les vieux puits, en particulier dans les puits de surface non forés.

*M.J. Goss et D.A.J. Barry, Université de Guelph*
*et D.L. Rudolph, Université de Waterloo*

également de fortes pluies l'hiver. La formation aquifère d'Abbotsford-Sumas, qui approvisionne en eau potable 100 000 citoyens du Canada et des États-Unis (*voir* l'encadré. p. 69), est une source de préoccupation majeure. Les concentrations de nitrates y dépassent la recommandation canadienne pour l'eau potable, de 10 mg d'azote de nitrates par litre, dans près de la moitié de la formation aquifère et atteignent même 40 mg/L dans certains puits. Cette formation couvre environ 100 $km^2$ au sud et à l'ouest d'Abbotsford dans la vallée du Fraser et à peu près la même superficie dans l'État de Washington. Étant donné que l'eau souterraine dans la formation aquifère s'écoule vers le sud, l'eau qui pénètre dans la partie américaine est déjà chargée de nitrates, ce qui limite son utilisation et fait de sa protection un enjeu international.

L'agriculture est considérée comme la principale coupable (même si elle n'est pas la seule) de la présence de nitrates dans les eaux de la formation aquifère d'Abbotsford-Sumas. La combinaison d'élevage avicole intensif et de culture des framboises au-dessus de la formation aquifère constitue la principale source des nitrates. Un certain nombre de mesures ont été prises pour réduire le lessivage des nitrates dans la formation aquifère.

#### Provinces des Prairies

Étant donné que le lessivage des nitrates dépend de l'eau qui s'écoule dans le profil pédologique, le risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates passe pour être faible dans les prairies arides du sud de l'Alberta et de la Saskatchewan. Cette région se caractérise par un déficit hydrique du sol et une agriculture de faible intensité (essentiellement culture des céréales et pâturages à faible densité). Par ailleurs, de vastes secteurs de tills argileux recouvrant des formations aquifères glaciaires et rocheuses ralentissent l'écoulement de l'eau et le processus de lessivage. Des orages violents peuvent néanmoins favoriser le lessivage des nitrates vers les eaux souterraines par les fractures des matériaux de surface.

Une bonne part de l'eau souterraine de l'Alberta provient de formations aquifères profondes du substratum rocheux qui ne sont pas directement liées à la surface du sol. Une étude réalisée en 1995 1996 sur les puits d'exploitations agricoles de l'Alberta a révélé qu'à peine 0,6 % des 448 puits profonds contenaient des teneurs en nitrates et en nitrites supérieures à la recommandation canadienne sur la qualité de l'eau potable, alors que 13 % des 376 puits de surface dépassaient cette recommandation.

On a décelé de fortes concentrations de nitrates dans les eaux souterraines de régions où seules des sources d'origine géologique étaient présentes, ce qui indique que l'agriculture n'est pas toujours la source des nitrates. Là où les nitrates étaient vraisemblablement d'origine agricole, comme dans l'eau de drainage par tuyaux enterrés et dans les puits d'exploitations agricoles, 5 à 25 % des échantillons contenaient une teneur en azote de nitrates supérieure à la recommandation sur l'eau potable. Le même degré de contamination existait déjà dans les années 1940, ce qui permet de déduire que les concentrations de nitrates n'ont pas augmenté à cause des pratiques agricoles modernes.

L'analyse réalisée en 1995 dans 85 puits de la Saskatchewan que l'on soupçonnait d'être

contaminés à cause de leur faible profondeur (moins de 20 m) et de leur situation dans des aquifères libres et dans des régions agricoles, a révélé que 33 % contenaient des concentrations de nitrates supérieures à la recommandation sur l'eau potable. Une autre analyse en 1996 dans des puits de surface dans d'autres régions agricoles de la Saskatchewan a révélé que 36 % des puits contenaient des concentrations de nitrates supérieures à la recommandation sur l'eau potable.

**Centre du Canada**

Les principales régions agricoles du centre du Canada se caractérisent par diverses combinaisons d'agriculture intensive, de climat humide, de sols hautement perméables, de sols minces et de nappes phréatiques à faible profondeur. Il existe donc des risques élevés que des nitrates et d'autres produits agrochimiques filtrent dans les eaux souterraines là où plusieurs de ces facteurs coexistent.

Les eaux souterraines subviennent à une faible part des besoins en eau de l'Ontario. Les familles rurales dépendent presque entièrement de cette source pour leur approvisionnement. Une analyse approfondie des puits d'eau potable agricoles a été réalisée en Ontario en 1991–1992 pour établir

- la qualité et la salubrité de l'eau potable pour les familles rurales
- l'effet de la gestion agricole sur la qualité de l'eau souterraine à l'échelle provinciale.

Sur 1 292 puits agricoles analysés, 14 % dépassaient la recommandation canadienne sur l'eau potable en ce qui concerne l'azote des nitrates. La contamination des eaux souterraines avait un rapport avec le type, la profondeur et l'âge du puits (*voir* l'encadré, p. 70).

Le tableau 6-1 illustre les résultats d'analyses des eaux souterraines menées en Ontario depuis les années 1950. La proportion de puits où la concentration des nitrates était supérieure à 10 mg/L en 1991–1992 ne diffère guère de celle qui ressort des analyses menées entre 1950 et 1954, qui révèlent qu'entre 5 % et 20 % des puits d'eau potable contenaient des concentrations de nitrates supérieures à la recommandation canadienne sur l'eau potable. Ces résultats incitent à croire que l'activité agricole depuis 50 sans n'a pas radicalement modifié les quantités de nitrates qui viennent s'ajouter aux eaux souterraines.

Des puits de surveillance multiniveaux ont par ailleurs été installés dans des champs agricoles et des boisés à côté des puits d'eau potable dans 144 exploitations agricoles étudiées. Les concentrations de nitrates dépassaient la recommandation

**Tableau 6-1**
**Résultats des analyses d'eau de puits en Ontario**

| Années d'analyse | Nombre de puits | Puits (%) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | N-Nitrates >10 mg N/L | Bactéries coliformes >10/100 mL | Pesticides décelés |
| 1950–1954 | 484 | 14 | 15[a] | — |
| 1980 | 37 | 5 | 43 | — |
| 1984–1985 | 63 | 21 | — | — |
| c. 1985 | 49 | 5 | — | — |
| 1979–1984 | 359 | — | — | 37 |
| 1981–1984 | 102 | — | — | 14 |
| 1984 | 91 | — | — | 13 |
| 1986 | 103 | 15 | — | 10 |
| 1987 | 76 | 7 | — | 5 |
| 1990 | 566 | 12 | 37 | — |
| 1991–1992 | 142 | 7 | 44[b] | — |
| 1991 | 301 | 15 | 34[b] | 10 |
| 1991–1992 | 1292 | 14 | 34,25[a] | 12 |

a Données relatives à *E. coli*.
b Données relatives aux coliformes fécaux.

Source : Goss et al., 1998.

canadienne sur l'eau potable pour plus de la moitié des intervalles d'échantillonnage dans 23 % des puits multiniveaux. La concentration moyenne d'azote de nitrates dans ces puits, qui était d'environ 10 mg/L près de la nappe phréatique, baissait à 3 mg/L à une profondeur d'environ 6,5 m. La proportion de puits contaminés était analogue en ce qui concerne les puits d'eau potable et les puits de surveillance multiniveaux du sondage, ce qui indique que la contamination est attribuable autant aux activités menées dans les champs cultivés qu'aux sources ponctuelles de contamination à la ferme.

Même si l'analyse des puits manque de précision pour évaluer les effets de pratiques agricoles ou culturales bien précises, on a pu constater que

- les exploitations où l'on épandait du fumier couraient plus de risques d'avoir des puits contaminés par l'azote de nitrates et les bactéries que les autres exploitations
- les boisés non cultivés semblaient offrir un environnement permettant l'élimination des nitrates, mais non des bactéries, des eaux souterraines.

La contamination par les nitrates touche plus sérieusement les eaux souterraines que l'eau de surface au Québec. C'est un phénomène particulièrement courant dans les régions où l'on pratique la culture intensive de la pomme de terre. Cette dernière est cultivée sur des sols sablonneux avec de grosses quantités d'engrais azotés. Des concentrations de nitrates supérieures à la recommandation canadienne sur l'eau potable ont été relevées dans les formations aquifères qui approvisionnent plusieurs municipalités en eau potable. Par exemple, 40 % des puits de la municipalité régionale de Portneuf avaient des concentrations de nitrates supérieures à cette recommandation. Les mesures prises récemment révèlent une amélioration de la situation, que l'on peut attribuer à l'utilisation de cultures de couverture, à la diminution des apports d'azote par les engrais et à l'épandage de plus petites quantités d'engrais.

### Provinces de l'Atlantique

Le sol, le climat et les systèmes de culture dans les provinces de l'Atlantique peuvent concourir à la création de conditions favorables au lessivage des nitrates à partir de sources agricoles non ponctuelles. Au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard, on a étudié le déplacement des nitrates entre leur point d'origine ou d'épandage sur le terrain et les eaux souterraines peu profondes en analysant l'eau de drainage par tuyaux souterrains provenant des champs dont on connaissait les antécédents culturaux. Les concentrations de nitrates supérieures aux teneurs naturelles sont attribuées aux applications agricoles de source non ponctuelle plutôt qu'aux déversements ou à une autre source ponctuelle quelconque. Ces études fournissent une estimation de la valeur supérieure des concentrations de nitrates que peut contenir l'eau qui filtre à travers la rhizosphère et alimente les eaux souterraines profondes, à la suite d'opérations agricoles normales.

On a étudié le lessivage des nitrates dans les systèmes de culture des pommes de terre, des céréales, du maïs et des graminées. Le tableau 6-2 illustre les concentrations moyennes d'azote des nitrates dans l'eau de drainage enterré provenant de systèmes culturaux choisis des Maritimes et présente des résultats analogues pour des régions d'agriculture intensive aux États-Unis et en Europe de l'Ouest. Dans les études sur les Maritimes, les apports d'azote provenant des engrais se chiffraient à environ 150, 90 et 200 kg/ha respectivement pour les pommes de terre, le maïs et les graminées. La culture des pommes de terre produisait les plus fortes concentrations de nitrates (*voir* l'encadré. p.).

**Tableau 6-2**
**Concentration moyenne d'azote de nitrates dans l'eau de drainage**

| Culture | Lieu | Concentration (mg/L) |
|---|---|---|
| Pommes de terre | N.-B.–Î.-P.-É. | 10–20 |
| Céréales | Î.-P.-É. | 3-6 |
| Ensilage de maïs | N.-B. | 5 |
| Graminées | N.-B. | 3–5 |
| Pâturages | N.-B. | 1–3 |
| Maïs-soja | Iowa | 20–40 |
| Pommes de terre-céréales | Europe | 25–30 |
| Cultures spécialisées | Europe | 35–70 |
| Pâturages | Europe | 3–7 |

Compilé à partir de divers ouvrages publiés par P.H.Milburn, AAC, et G.L. Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada.

Les concentrations moyennes d'azote de nitrates provenant d'autres systèmes culturaux étaient sans doute inférieures aux concentrations résultant des cultures pratiquées en Europe et dans l'Iowa, à cause de l'épandage d'une moins grande quantité d'engrais et de la plus forte pluviosité qui provoquait un lessivage et une dilution plus importants des nitrates transportés jusqu'à l'eau de drainage.

Certaines pratiques permettent de réduire le niveau de lessivage des nitrates (*voir* le chapitre 8). Mentionnons, entre autres, l'épandage d'engrais adapté aux besoins culturaux, une bonne rotation des cultures, l'utilisation de cultures de couverture et de résidus riches en carbone quand cela est possible, l'emploi judicieux de compost et de fumiers et la prévention du labourage des cultures fourragères au début de l'automne.

On a analysé l'eau souterraine profonde de puits domestiques et de puits de recherche dans les secteurs où l'on pratique la culture intensive de la pomme de terre au Nouveau-Brunswick. À cette occasion, on a mesuré les concentrations de nitrates dans l'eau potable souterraine. Pour réaliser cette étude, on a déterminé l'hydrogéologie d'un bassin hydrographique dominé par la culture de la pomme de terre jusqu'à une profondeur de 30 m et on a installé dans le bassin des appareils pour évaluer la qualité de l'eau à plusieurs profondeurs. Les concentrations moyennes d'azote de nitrates dans les puits domestiques et les puits de recherche étaient inférieures à la recommandation canadienne de 10 mg/L pour l'eau potable. Toutefois, les concentrations moyennes étaient plus élevées dans les régions soumises à une culture intensive de la pomme de terre que dans les régions rurales non agricoles. On trouvera au tableau 6-3 d'autres exemples des concentrations de nitrates dans la nappe phréatique provenant de diverses études réalisées dans le Canada atlantique.

Voici d'autres précisions sur certaines de ces études :

- dans une étude réalisée en 1989 sur les approvisionnements en eau rurale dans le comté de Kings (N.-É.), la profondeur des puits, leur construction et la texture du sol se sont révélées les principaux facteurs de vulnérabilité des puits à la contamination
- près d'un puits rural sur cinq dans le bassin hydrographique de Bedeque Bay à l'Île-du-Prince Édouard avait des concentrations d'azote de nitrates supérieures à 8 mg/L (cette étude « Well Watch 1995 » a été réalisée par la Bedeque Bay Environmental Management Association)
- une analyse des puits provinciaux menée entre 1989 et 1991 a porté sur le lien entre l'aménagement des terres et les concentrations de nitrates dans les eaux souterraines de l'Île-du Prince-Édouard. Les

**Tableau 6-3**
**Concentrations moyennes de nitrates dans les eaux souterraines des provinces maritimes**

| Lieu et type d'analyse | Date | Concentration moyenne d'azote de nitrates (mg/L) | Puits où la concentration d'azote dépasse les recommandations (%) |
|---|---|---|---|
| Comté de Carleton (N.-B.), 300 puits agricoles | 1984–1985 | 2–30 | 14–22 |
| 3 régions agricoles au N.-B., 47 puits agricoles | 1973–1976, 1988 | 9,5 | 20 |
| 4 bassins hydrographiques du comté de Kings (N.-É.), 237 puits | 1989 | 4,6 | 13 |
| Î.-P.-É., 2 216 analyses d'eau potable | 1991–1994 | 2,7 | 1 |
| 1 bassin hydrographique de la Baie de Bedeque , (Î.-P.-É.), 283 puits | 1995 | 6 | 7 |
| Î.-P.-É., 146 puits de ferme laitière | 1997 | 9,9 | 44 |

Compilé à partir de divers ouvrages publiés par P.H. Milburn, AAC et G.L. Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada.

## Lessivage des nitrates des champs de pommes de terre à l'Île-du-Prince-Édouard

Le lessivage des nitrates dans les eaux souterraines peut survenir chaque fois que de l'eau s'écoule à travers un sol qui contient de l'azote sous forme de nitrates. La majeure partie du lessivage des nitrates provenant des champs de pommes de terre a lieu à la fin de l'automne, en hiver et au début du printemps, lorsqu'aucune culture n'est là pour assimiler l'azote, que les précipitations sont intenses et que l'évapotranspiration est plus basse. L'Île-du-Prince-Édouard reçoit en moyenne 1 100 mm de précipitations par an, dont environ 400 mm filtrent à travers le sol (environ 400 L/$m^2$ de terrain). Pour chaque kilogramme d'azote des nitrates lessivé par hectare, la concentration d'azote des nitrates dans l'eau lessivée est de 0,25 mg/L. En d'autres termes, pour maintenir la contamination des eaux souterraines par les nitrates en deçà de la recommandation sur l'eau potable au Canada, qui est de 10 mg/L, il faut que la quantité de nitrates qui s'échappe des champs par lessivage soit inférieure à 40 kg/ha.

La quantité d'azote épandu sur les terres de l'Île-du-Prince-Édouard en 1997 est estimée

- à 9 millions de kilogrammes d'azote dans les engrais
- à 7 millions de kilogrammes d'azote de fumier (242 000 tonnes de purin, 560 000 tonnes de fumier de bovin et 290 000 tonnes de fumier de bovin laitier)
- 5 millions de kilogrammes d'azote fixé par les légumineuses.

Même si la totalité de cet azote devait filtrer dans les eaux souterraines, la concentration d'azote de nitrates qui en résulterait serait d'environ 9 mg/L, soit en deçà de la limite de sécurité généralement acceptée. En réalité, les cultures absorbent entre 50 % et 90 % de l'azote assimilable, de sorte que le risque réel de contamination des eaux souterraines par les nitrates est nettement inférieur dans l'ensemble. Toutefois, dans les régions de cultures intensives qui utilisent mal l'azote, comme la pomme de terre, qui absorbe moins de 50 % de l'azote assimilable, les risques de lessivage sont bien plus élevés. Il faut donc prendre soin dans ces systèmes de culture d'adapter soigneusement les apports d'azote aux besoins des cultures et de maintenir à un bas niveau les concentrations d'azote dans le sol au paroxysme de la saison de lessivage.



J.A. MacLeod, J.B. Sanderson et A.J. Campbell,
Agriculture et Agroalimentaire Canada

concentrations moyennes de nitrates dans les puits situés dans des régions soumises à une culture sarclée intensive étaient pratiquement deux fois plus élevées que la moyenne provinciale et presque cinq fois plus élevées que les concentrations observées dans des régions relativement vierges

- l'analyse provinciale de l'eau potable réalisée à l'Île-du-Prince-Édouard entre 1991 et 1994 a révélé que 4 % des approvisionnements dépassaient la recommandation canadienne sur l'eau potable dans les lieux où les concentrations moyennes de nitrates étaient de 4 mg/L ou supérieures.

## Pesticides

La contamination des eaux souterraines par les pesticides est un sujet de préoccupation majeur dans l'esprit du public. Même si l'on a décelé des pesticides dans les eaux souterraines de vastes zones de culture intensive, les concentrations sont pour la plupart nettement inférieures à la recommandation sur l'eau potable. Des incidents spécifiques de contamination ponctuelle par les pesticides surviennent de temps à autre, comme les déversements de pesticides ou le nettoyage des équipements d'épandage.

À mesure que les pesticides avancent vers la nappe phréatique, les risques de lessivage dépendent des conditions climatiques, des propriétés chimiques et physiques du sol, des pratiques agricoles et des propriétés des produits chimiques. On a détecté toute une variété de pesticides dans les eaux souterraines canadiennes, mais ceux qui sont le plus couramment décelés

- sont d'usage courant
- se dégradent plutôt lentement
- se dissolvent dans l'eau
- sont mal retenus par le sol ou par la matière organique.

**Colombie-Britannique**

Certains fumigants de sol ont été décelés dans l'aquifère d'Abbotsford–Sumas en Colombie-Britannique, bien qu'à de faibles concentrations. Ces produits étaient principalement utilisés dans la culture des fraises et des framboises, mais ils ont aujourd'hui été retirés du marché et ne sont plus utilisés. Les concentrations de ces produits dans les aquifères devraient baisser avec le temps. Ailleurs en Colombie-Britannique, diverses analyses de puits ont révélé quelques pesticides, mais à des concentrations suffisamment basses pour ne pas être inquiétantes.

### Provinces des Prairies

En Alberta, une analyse des puits réalisée entre 1994 et 1996 a révélé qu'aucun des 448 puits profonds analysés ne contenait de concentrations de pesticides dépassant la recommandation canadienne sur l'eau potable pour l'être humain ou le bétail ou pour la vie aquatique. Moins de 1 % contenaient des quantités de dicamba et de bromoxynil dépassant les recommandations sur l'eau d'irrigation. Sur les 376 puits de surface analysés, 1 % dépassaient les recommandations sur la qualité de l'eau d'irrigation en ce qui concerne le dicamba, mais moins de 1 % dépassaient ces mêmes recommandations pour tout autre usage. Les pesticides consistaient en du

- 2,4-D et du bromoxynil pour la consommation humaine et du bétail
- bromoxynil, du trialate et du trifluraline pour la vie aquatique.

Dans le cadre d'analyses menées en 1995 et 1996 sur des puits à haut risque en Saskatchewan, on a décelé des pesticides dans 7 % des puits la première année et dans 26 %, la deuxième. Toutefois, les quantités décelées étaient au moins 100 fois inférieures à la recommandation canadienne sur l'eau potable. La plupart des quantités décelées concernaient les herbicides dicamba, 2,4-D, ou MCPA. On a également réalisé ces dernières années des études sur l'eau de puits au Manitoba, et on y a décelé certains pesticides. Cependant, les concentrations étaient toujours inférieures aux recommandations canadiennes sur la qualité de l'eau potable.

On a découvert des pesticides, pour la plupart des herbicides, dans les eaux souterraines sous le sol de prairies irriguées. Dans presque chaque cas, les concentrations étaient nettement inférieures à la limite recommandée. Les résidus que l'on trouve dans les eaux souterraines peuvent varier selon l'état du site et le type de pesticide utilisé. Par exemple, dans une étude d'un an consacrée à l'herbicide hexazinone épandu sur de courts parcours irrigués par gravité en 1991 dans le sud de l'Alberta, on a détecté l'herbicide dans 50 % des échantillons d'eau de ruissellement et dans environ 27 % des échantillons d'eau souterraine. Il n'existe pas de recommandation canadienne sur la qualité de l'eau en ce qui concerne l'hexazinone, mais toutes les quantités décelées étaient nettement inférieures à la limite pour toute une vie émise par les États-Unis pour l'eau potable, qui est de 200 µg/L. Dans une étude des herbicides du type phénoxy épandus sur de longs parcours irrigués par gravité la même année et dans la même région, on n'a détecté d'herbicides dans aucun échantillon d'eau de ruissellement, mais dans 50 % des échantillons d'eau souterraine. L'un des six herbicides, le bromoxynil, dépassait la recommandation canadienne sur l'eau potable dans 11 % des échantillons d'eau souterraine.

### Centre du Canada

L'ancienne pratique de la *monoculture* (culture unique), particulièrement du maïs et de la pomme de terre, semble être responsable des principaux cas de contamination d'eau souterraine observés en Ontario et au Québec. L'atrazine est l'herbicide que l'on décèle le plus souvent dans l'eau souterraine, aux côtés de la simazine, de la métribuzine, de la cyanazine, du métolachlore, du dicamba, du 2,4-D et du mécoprop. Dans de rares cas, les concentrations dépassaient les recommandations sur la qualité de l'eau. Les nouvelles restrictions imposées à l'épandage d'atrazine devraient contribuer à réduire les concentrations de cet herbicide dans les eaux souterraines. Parmi les insecticides décelés dans l'eau souterraine, le carbaryl et le carbofurane ont suscité les plus graves préoccupations, du fait que leurs concentrations approchaient parfois de la limite de sécurité relative à l'eau potable.

Plusieurs études réalisées en Ontario entre 1979 et 1992 ont révélé des pesticides dans 10 à 37 % des puits (*voir* le tableau 6-1). Les métabolites du chlortal-diméthyl (DCPA) et l'atrazine étaient les pesticides les plus couramment décelés. Dans une analyse des eaux souterraines réalisée en 1992, des pesticides ont été détectés dans 12 % des puits. Les concentrations dépassaient la recommandation canadienne sur l'eau potable dans seulement six puits (0,3 %).

Une analyse provinciale réalisée au Québec entre 1984 et 1991 a révélé que des pesticides étaient présents dans 24 % des 245 puits analysés. Dans une analyse menée dans la région de l'île d'Orléans, 31 % des puits échantillonnés contenaient de l'aldicarbe et de l'atrazine, mais à des concentrations inférieures aux recommandations.

### Provinces de l'Atlantique

Des exemples de détection de pesticides dans le Canada Atlantique paraissent au tableau 6-4.
En 1989, on a échantillonné des pesticides dans 120 puits agricoles de la région de Nouvelle-Écosse soumise à l'agriculture intensive, notamment la culture du maïs. Les chercheurs ont décelé

- de l'atrazine (un herbicide couramment utilisé sur maïs) en faibles concentrations (moins de 2 µg/L) dans 38 % des puits
- au moins un parmi les neuf autres pesticides dans 41 % des puits (à raison de moins de 1 µg/L)

Tableau 6-4
**Concentrations de pesticides dans les eaux souterraines du Canada atlantique**

| Lieu | Date | Pesticide | Recommandation canadienne pour l'eau potable (µg/L) | Puits où l'on a détecté le pesticide | Concentration moyenne du pesticide (µg/L) |
|---|---|---|---|---|---|
| Comté de Kings (N.-É.) 120 puits | 1989 | Atrazine | 5 | 33 | 0,24 |
| | | Simazine | 10 | 5 | 0,52 |
| | | Métribuzine | 80 | 4 | 0,02 |
| | | Alachlore | Pas de recommandation | 3 | 0,05 |
| | | Métolachlore | 50 | 2 | 0,86 * |
| | | Captane | Pas de recommandation | 1 | 0,05 * |
| | | Chlorthalonil | Pas de recommandation | 1 | 0,065 * |
| | | Diméthoate | 20 | 1 | 0,40 * |
| N.-B., Î.-P.-É. Parcelles de drainage par tuyaux souterrains à la ferme, divers endroits | 1987–1990 | Dinosèbe | 10 | n. d. | 0,2 |
| | | Métribuzine | 80 | n. d. | 0,22 |
| | | Atrazine | 5 | n. d. | 0,4 à 2,5 |
| | | Déséthyl atrazine | 5 | n. d. | Moins de 1,0 |
| N.-B. Puits | 1990 | Chlorthalonil | Pas de recommandation | 0 | Non décelable |
| N.-B. Puits de recherche multiniveaux | 1996–1998 | Hexazinone (Velpar) | Pas de recommandation (USEPA = 200) | 6 | 1,5 |
| N.-B. Eau de drainage, puits de recherche | 1996 | Métalyxl (Ridomil) | Pas de recommandation | 10 | 1 |
| N.-B. Puits de recherche multiniveaux | 1992–1993 | 16 pesticides | Divers | n. d. | Généralement non décelable ou inférieur à 1,0 |
| Î.-P.-É. 60 puits | 1996 | 10 pesticides | divers | 0 | Généralement non décelable |

* Dénote un nombre limité d'échantillons.
n. d. = non disponible.
Compilé à partir de divers ouvrages publiés par P. Milburn, Agriculture et Agroalimentaire Canada et G. Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada.

- plus d'un pesticide dans 19 % des puits.

La présence de la plupart des pesticides est attribuée à une contamination non ponctuelle et non à la construction du puits ou à des matériaux de surface au-dessus de la nappe phréatique. Dans la plupart des cas, on n'avait pas épandu d'atrazine depuis 3 à 10 ans avant sa détection, ce qui indique la rémanence et la lenteur de dégradation de ce produit dans la nappe phréatique.

L'aldicarbe, insecticide rapidement lessivé, a été abondamment utilisé sur des sols sablonneux et perméables où l'on cultive des pommes de terre, particulièrement à l'Île-du-Prince-Édouard (mais également au Québec). Les études sur les eaux souterraines réalisées à la fin des années 1980 ont révélé que la contamination des puits domestiques par l'aldicarbe était importante, les concentrations dépassant parfois la recommandation canadienne pour l'eau potable, qui est de 9 µg/L. Sur les 48 puits

analysés dans une étude, 12 % dépassaient la recommandation sur l'eau potable. La présence d'aldicarbe dans les eaux souterraines semble avoir un rapport avec son épandage au moment de la plantation lorsque les températures du sol sont basses et que l'alimentation des eaux souterraines est importante. Compte tenu de cette information, l'aldicarbe a été retiré du marché en 1990 et il n'existe donc plus de source de cette substance.

Parmi les autres résultats du programme de surveillance des pesticides, mentionnons :

- aucune trace de chlorthalonil, fongicide non lessivable, n'a été détectée en 1995 dans les échantillons d'eau prélevés dans des puits domestiques ou de recherche dans une région de forte utilisation apparente au Nouveau-Brunswick, alors qu'on en a trouvé à des concentrations dépassant tout juste la limite détectable dans 4 des 66 échantillons d'eau de drainage
- la métribuzine, herbicide lessivable, a été décelée dans l'eau de drainage l'année où elle a été épandue (en 1991) et de nouveau au printemps suivant à des concentrations moyennes oscillant entre 0,1 % et 2 % de la recommandation canadienne sur l'eau potable. Les concentrations dans les puits de recherche multiniveaux représentaient environ 0,1 % de la limite recommandée
- dans le cadre d'analyses de l'eau de drainage par tuyaux souterrains provenant de certains champs et parcelles cultivés au Nouveau-Brunswick en 1991 et 1995, on a décelé du dinosèbe (herbicide utilisé dans la culture de la pomme de terre) et de l'atrazine (utilisé dans la culture du maïs) à des concentrations moyennes nettement inférieures à la recommandation sur l'eau potable
- dans une analyse de 16 pesticides décelés dans des échantillons d'eau souterraine provenant d'un bassin hydrographique d'une zone de culture intensive au Nouveau-Brunswick en 1992–1993, on n'a décelé que de l'atrazine, du déséthyl atrazine et de la métribuzine à des concentrations inférieures à 1 microgramme par litre
- dans une analyse de puits réalisée en 1996 dans une région d'agriculture intensive de l'Île-du Prince-Édouard, les dix pesticides généralement ciblés n'ont pas été décelés. Toutefois, on a décelé d'autres pesticides (comme de l'hexazinone)
- selon une étude suivie des herbicides dans une région du Nouveau-Brunswick qui produit des bleuets sauvages, il ressort que de l'hexazinone a été décelé dans tout le bassin hydrographique à des concentrations d'environ 3 microgrammes par litre ou même inférieures près de la surface de la nappe phréatique. Les concentrations baissent rapidement avec la profondeur (*voir* l'encadré).

### Lessivage des herbicides dans la culture des bleuets sauvages au Nouveau Brunswick

Sur la côte Est, les champs de bleuets sauvages sont souvent aménagés en vue d'optimiser la production, ce qui présuppose l'épandage d'hexazinone pour venir à bout des plantes adventices. Étant donné que les bleuets poussent sur des sols minces à grains grossiers et que l'hexazinone est lessivable, cet herbicide a été décelé dans les eaux souterraines au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard et dans le Maine. Les concentrations sont généralement inférieures à 4 µg/L, même si un puits d'essai dans le Maine en contenait à raison de 29 µg/L d'eau. Il n'existe aucune recommandation canadienne sur la qualité des eaux au sujet de ce pesticide, mais la limite pour toute une vie imposée par les États-Unis pour l'eau potable est de 200 µg/L.

La plupart des données sur la contamination des eaux souterraines par l'hexazinone proviennent de l'analyse de puits domestiques. En vertu de cette approche, il n'a pas été facile de cerner les principaux facteurs qui expliquent cette contamination, étant donné que les conditions hydrogéologiques locales et les méthodes de construction des puits varient d'une région à l'autre. Une meilleure approche réside dans les recherches hydrogéologiques et la surveillance de la qualité de la nappe phréatique, qui :

- fournissent des données sur les pesticides qui s'infiltrent à partir de sources non ponctuelles (par opposition à la contamination attribuable aux accidents ou aux déversements)
- documentent les conditions hydrogéologiques qui prédominent au puits d'échantillonnage ou à proximité
- confirment ou éclairent d'un jour nouveau les causes probables de contamination.

Une étude de ce type est en cours dans un bassin hydrographique du sud-ouest du Nouveau-Brunswick, où l'on cultive des bleuets sauvages. La zone étudiée est située sur une plaine de délavage glaciaire de 500 ha qui se compose de sable et de gravier à fort coefficient de perméabilité (de l'ordre de 100 m/j). La profondeur de la nappe phréatique varie de 5 à 12 m. Un réseau de six puits d'observation multiniveaux a été établi en plusieurs lieux du bassin hydrographique. La surveillance mensuelle de la qualité de l'eau et de la charge hydraulique a débuté en mai 1996. De l'hexazinone a été épandu en divers endroits de la plaine ces dix dernières années.

Les résultats révèlent que l'on trouve de l'hexazinone dans tout le bassin hydrographique à des concentrations d'environ 3 µg/L ou moins près de la surface de la nappe phréatique. Les concentrations diminuent rapidement à mesure que la profondeur augmente. Les concentrations d'azote dans la nappe phréatique sont négligeables dans tout le site.

*P. Milburn, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

Ces études démontrent assez clairement que les pesticides employés pour l'agriculture dans les provinces de l'Atlantique ont eu un effet minime sur la qualité des eaux souterraines.

## Bactéries

Les bactéries que l'on recherche systématiquement lors de l'analyse de la qualité de l'eau ne sont pas forcément celles qui provoquent des maladies. Leur présence indique seulement que l'eau peut être contaminée par des déchets animaux ou humains. Si on les cible dans ce type d'analyse, c'est qu'elles sont beaucoup plus faciles à déceler que les organismes pathogènes, qui sont sans doute présents en infimes quantités et difficiles à cultiver en laboratoire.

Les recommandations canadiennes sur l'eau potable en ce qui concerne les coliformes et la bactérie *Escherichia coli* sont donc plutôt arbitraires. Les preuves scientifiques qui établissent un lien entre ces limites et la santé de l'être humain sont rares, étant donné que ces organismes ne sont pas la cause concrète de maladies. Une récente étude menée en Ontario révèle que la plus forte incidence de diarrhée chez les membres de familles agricoles a un rapport avec la détection de *E. coli* dans l'eau de leur puits à un moment donné, l'année de l'étude. L'association d'une contamination par les nitrates et par les bactéries peut être importante, vu qu'on a établi un rapport entre la méthémoglobinémie (*voir* le chapitre 4) et l'eau qui contient les deux. En général, l'eau provenant des puits d'eau potable au Canada a plus de chances de dépasser les limites relatives aux bactéries que celles qui se rapportent aux nitrates ou aux pesticides.



*Forage d'un puits de contrôle de la qualité des eaux souterraines*

Dans une analyse de la qualité des eaux souterraines menée en Ontario en 1992, 34 % des puits analysés dépassaient le nombre acceptable maximal de bactéries coliformes, et environ 7 % étaient contaminés à la fois par des bactéries et des nitrates. L'incidence des bactéries

- diminuait avec la profondeur dans les puits ordinaires ou les puits forés au trépan, mais pas dans les puits formés d'une pointe introduite dans un sol sablonneux (puits foncé)
- était plus élevée dans les vieux puits que dans les plus jeunes.

On a détecté de plus petits nombres de bactéries dans les échantillons prélevés l'hiver que dans ceux prélevés l'été.

On a également étudié au cours de cette analyse les sources ponctuelles possibles de la contamination par les nitrates ou les bactéries, comme les fosses septiques ou les systèmes d'évacuation des eaux usées et les parcs d'engraissement ou d'exercice. La distance entre le puits et le champ d'épuration ou la fosse septique était sans effet sur le niveau de contamination du puits par les nitrates ou les bactéries. Les parcs d'engraissement et d'exercice sont d'importantes sources localisées de contamination des eaux souterraines par les bactéries. Les puits multiniveaux échantillonnés dans cette analyse devaient permettre d'isoler les sources ponctuelles de contamination. Mais il n'est arrivé qu'une seule fois qu'un puits domestique agricole soit contaminé et que le puits multiniveaux situé dans la même exploitation ne le soit pas. Dans tous les autres cas, les concentrations de bactéries étaient analogues dans les puits d'eau potable et les puits multiniveaux, ce qui porte à croire que les bactéries provenaient autant des champs agricoles que de sources ponctuelles.

Une étude réalisée en Ontario à l'aide de bactéries traceuses démontre que l'écoulement de l'eau par les fissures et les macropores du sol peut rapidement déplacer les bactéries à au moins 100 m d'une fosse septique, d'une fosse à fumier ou de fumier bovin solide. Sous l'effet de ce phénomène, de fortes concentrations de bactéries peuvent atteindre les bouches de drainage souterrain peu de temps après l'épandage du fumier. Une fois dans l'eau souterraine, les bactéries semblent pouvoir survivre pendant plusieurs mois à cause de la température fraîche, et s'y multiplier.

Tableau 6-5
**Contamination par les bactéries des puits en dehors de l'Ontario**

| Province | Date | Nombre de puits | Puits contaminés par des bactéries (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Numération totale de coliformes | Coliformes fécaux |
| Alberta | 1995–1996 | 824 | 13,8 | 3,6 |
| Québec | 1990 | 70 | 26 | n.d. |
| Québec | 1975–1978 | 216 | 27 | 14 |
| Nouveau-Brunswick | 1973–1976, 1988 | 47 | 37 | n.d. |
| Nouveau-Brunswick | 1984–1985 | 285 | 21 | 34 |
| Nouveau-Brunswick | 1985–1985 | 300 | 29 | 10 |
| Manitoba | 1993 | 190 | 37 | n.d. |
| Île-du-Prince-Édouard | 1990, 1991 | 42 | 12 | n.d. |
| Nouvelle-Écosse | 1989 | 102 | 9 | n.d. |

Source : Goss et al., 1998.

Par rapport aux concentrations bactériennes mesurées dans les puits en Ontario entre 1950 et 1954 (*voir* le tableau 6-1), le nombre de puits où la numération des coliformes fécaux était supérieure aux recommandations pourrait avoir presque doublé en 45 ans. En revanche, les concentrations de nitrates sont demeurées à peu près stables.

Dans une analyse des puits réalisée en Alberta en 1995–1996, 2 % des 448 puits profonds analysés affichaient des concentrations de coliformes fécaux supérieures à la recommandation canadienne sur l'eau potable, et 10 % avaient une numération totale de coliformes supérieure à la recommandation. Sur les 376 puits de surface analysés, 5 % dépassaient les lignes directrices sur les coliformes fécaux et 19 %, celles de la numération totale des coliformes. On trouvera au tableau 6-5 certaines données sur les bactéries dans les eaux souterraines d'autres provinces.

## Autres contaminants

Il arrive que le sel contamine les eaux souterraines. Dans bien des régions, surtout dans les Prairies, le sel est d'origine naturelle et limite grandement l'utilisation de cette eau. Dans l'est du Canada, le sel qui se trouve dans les eaux souterraines provient parfois du sel épandu sur les routes pour faire fondre la glace. Cette source est rarement un problème pour l'agriculture, même si elle incommode à l'occasion les habitants des campagnes.

## Conclusion

L'effet de l'agriculture sur la qualité des eaux souterraines est un sujet de préoccupation dans le monde entier. On a observé des concentrations élevées de nitrates dans les eaux souterraines de certains pays qui pratiquent l'agriculture intensive comme les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Union européenne, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et le Canada.

Au Canada, la qualité de l'eau souterraine se situe généralement dans les limites des *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada* dans la plupart des régions du pays, mais les concentrations de nitrates sont une préoccupation constante. Les recherches et analyses ont démontré que les pratiques agricoles intensives augmentent à la fois le risque et l'incidence de contamination des eaux souterraines par les nitrates. Le lessivage des nitrates est principalement le fait du décalage entre les quantités de nitrates dont les cultures ont besoin et l'activité microbienne dans le sol, et a un rapport avec toutes les pratiques agricoles.

On a également observé la contamination des eaux souterraines par les bactéries, surtout dans les régions où l'on épand de grosses quantités de fumier. Des pesticides ont été détectés dans une partie de ces eaux. Mais, les concentrations qui dépassent les recommandations sur la qualité des eaux sont rares et sont généralement associées à des sources ponctuelles, comme les déversements de pesticides.

Les espoirs d'une amélioration de la situation dépendent en grande partie de l'adoption par les agriculteurs de pratiques de gestion respectueuses de l'environnement (tout en tenant compte des limites des exploitations agricoles imposées par le climat, la topographie, le sol, les machines, les finances et le temps). Même si beaucoup de ces pratiques sont faciles à adopter, d'autres exigent un investissement de temps et d'argent.

# 7. Les problèmes écologiques

*L.J. Gregorich, R. Antonowitsch, J. Biberhofer, E. DeBruyn, D.R. Forder, S.F. Forsyth, P.C. Heaven, J.G. Imhof et P.T. McGarry*

**Points saillants**

- Un bassin hydrographique est un système dynamique où s'intègrent géographie, débits d'eau et communautés biologiques, qui changent avec les cycles saisonniers. Les cours d'eau, les drains agricoles, les lacs et les étangs, les zones riveraines et les terres humides font partie d'un bassin hydrographique. De nombreux animaux (oiseaux, mammifères, amphibiens, reptiles, insectes, etc.) utilisent des habitats aquatiques durant au moins un stade de leur vie (p. ex. pour se nourrir, se reposer durant la migration, se reproduire et élever leurs petits). Pour les poissons et de nombreuses espèces de mollusques, de crustacés et d'insectes, l'eau est leur seul habitat.

- Étant donné que l'agriculture se pratique dans les bassins hydrographiques, elle interagit souvent avec leurs composantes et a toujours un effet sur elles. Cet effet peut être la modification d'un habitat faunique ou la diminution de sa capacité à entretenir une communauté biologique diversifiée. L'agriculture et d'autres formes de développement rural conduisent fréquemment au défrichage, au drainage et au tracé de canaux qui peuvent altérer la nature physique des bassins hydrographiques. L'infrastructure d'irrigation fournit souvent un nouvel habitat aquatique. Une quantité excessive d'éléments nutritifs provoque l'eutrophisation, qui épuise les réserves d'oxygène. L'azote et certains pesticides peuvent, au-delà de certaines concentrations, être létaux ou sublétaux pour les organismes aquatiques.

- De nombreux projets de conservation ont été entrepris au Canada pour restaurer et améliorer les habitats riverains et aquatiques, notamment des travaux sur les terres humides et les drains agricoles. Ces améliorations profitent non seulement à la faune terrestre et aquatique, mais, dans bien des cas, augmentent la qualité de l'eau utilisée dans les fermes.

- Des cours d'eau propres et utilisables rehaussent l'attrait des paysages ruraux.

## Introduction

Pour mieux comprendre les problèmes écologiques que posent les effets de l'agriculture sur l'eau, il est bon de prendre du recul pour considérer le bassin hydrographique dans son ensemble. Géographiquement parlant, un bassin hydrographique est un territoire défini par le relief, qui draine vers un cours d'eau ou un endroit donné. L'eau qui tombe dans ce bassin sous forme de précipitations est recueillie, captée, libérée et transportée par différentes composantes du paysage. Lorsque celles-ci sont intactes et fonctionnelles, elles modèrent et prolongent l'écoulement de l'eau et assurent l'existence de communautés biologiques saines et diversifiées.

Les composantes d'un bassin hydrographique changent constamment au cours des processus écologiques naturels, comme la colonisation du sol par la végétation, l'érosion et le déplacement du lit des cours d'eau. L'empiétement des activités humaines modifie la fonction des bassins hydrographiques de manière souvent néfaste à l'équilibre naturel. Les changements provoqués par l'homme sont souvent rapides et parfois irréversibles. Ils sont dus aux actions suivantes :

- coupe des forêts
- défrichage et mise en culture des terres
- élimination de la végétation le long des cours d'eau

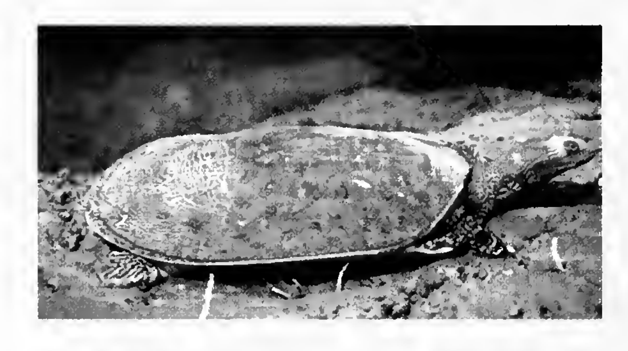
### Biodiversité dans les écosystèmes aquatiques

Tous les êtres vivants ont besoin d'eau pour assurer leurs fonctions. Pour un grand nombre d'entre eux, l'eau constitue aussi une part importante, sinon la totalité, de leur habitat. Les poissons et les autres organismes aquatiques, notamment de nombreux mollusques, crustacés, insectes et plantes, passent leur existence entière dans l'eau. Certaines espèces vivent dans l'eau durant une étape de leur développement (amphibiens et certains insectes terrestres); d'autres utilisent l'eau tout au cours de leur vie pour répondre à certains besoins.

Par exemple,
- les milieux aquatiques sont importants pour la sauvagine (p. ex. canards et oies), les oiseaux aquatiques vivant en colonies (p. ex. grands hérons et sternes) et les oiseaux de rivage (p. ex. pluviers et bécassines), qui s'y nourrissent, s'y reproduisent et y trouvent un abri contre les prédateurs
- de nombreuses tortues ont besoin d'eau pour se nourrir et s'abriter, et certaines espèces de serpents passent la majeure partie de leur temps dans l'eau ou à proximité
- les rats musqués, les castors et d'autres mammifères aquatiques dépendent des écosystèmes aquatiques et de la végétation environnante pour se nourrir et s'abriter
- les cours d'eau sont d'importantes aires d'alimentation pour des espèces généralement terrestres, comme les rapaces (p. ex. le pyrargue à tête blanche, le balbuzard pêcheur), les renards, les ratons laveurs et les ours.

Bref, une eau de qualité appropriée est l'un des éléments essentiels à la biodiversité, c'est-à-dire à la multiplicité des formes de vie qui existent sur cette planète. Les écosystèmes dotés d'une grande biodiversité sont plus stables que ceux dont les espèces ont été décimées. Ils sont plus résistants, mieux à même de supporter les perturbations des habitats et possèdent le bassin génétique nécessaire pour permettre aux espèces et à des collectivités complètes de s'adapter dans le temps à de nouvelles conditions écologiques.

*S.F. Forsyth, Forsyth Consulting Essentials*





- modification du drainage
- canalisation des cours d'eau
- pompage de l'eau pour l'irrigation
- construction de villes
- déversement de polluants dans les cours d'eau.

Un bassin hydrographique est un système complexe et dynamique intégrant géographie, débits d'eau et communautés biologiques, qui changent avec les cycles saisonniers. Comme l'agriculture et le développement rural s'opèrent à l'intérieur de bassins hydrographiques, ils ont souvent une interface avec les composantes de ces derniers et ont toujours une incidence sur elles, qu'elle soit positive ou négative. Cette incidence comprend souvent la disparition des habitats fauniques ou la diminution de leur capacité à supporter une communauté biologique diversifiée (*voir* l'encadré ci-contre). L'ampleur de cet effet dépend de la façon dont les pratiques agricoles et les activités rurales tiennent compte du fonctionnement des bassins hydrographiques.

Le présent chapitre décrit les composantes importantes des bassins hydrographiques et examine les effets potentiels de l'agriculture et d'autres formes de développement rural sur les écosystèmes aquatiques (*voir* l'encadré ci-contre). Étant donné la complexité et le caractère onéreux des études écologiques, on dispose de moins de résultats d'analyse pour étayer les propos de ce chapitre que pour d'autres parties du rapport.

## Cours d'eau

Les *cours d'eau* qui traversent les terres agricoles se divisent en deux grandes catégories :
- cours d'eau naturels, comme les ruisseaux et les rivières
- cours d'eau artificiels, comme les drains agricoles et municipaux.

L'eau quittant les terres agricoles sous forme de ruissellement, d'eau de drainage ou de lessivats dans les eaux souterraines, entre dans les cours d'eau pour être ensuite transportée dans des milieux récepteurs, comme les étangs et les lacs, ou dans des cours d'eau plus grands qui finissent par atteindre l'océan. Par conséquent, les effets de l'agriculture sur ces voies d'eau (aussi bien sur la qualité de l'eau que sur sa quantité) s'accumulent au fur et à mesure que l'eau traverse le bassin hydrographique. Étant donné que l'agriculture se pratique sur de vastes étendues de terres, et cela de nombreux mois par année, son incidence potentielle sur les voies d'eau et sur les écosystèmes aquatiques est considérable.

## Effets de l'agriculture sur les écosystèmes aquatiques

| Dangers possibles de l'agriculture et du développement | Effets possibles sur les écosystèmes aquatiques |
|---|---|
| Sédiments entraînés dans l'eau par l'érosion du sol | ■ accroissent la turbidité de l'eau<br>■ réduisent la transmission des rayons solaires nécessaires à la photosynthèse<br>■ altèrent les comportements animaux qui dépendent de la vue (alimentation, accouplement et fuite devant les prédateurs<br>■ nuisent à la respiration (p. ex. par l'abrasion des ouïes chez les poissons) et à la digestion<br>■ réduisent la concentration d'oxygène dans l'eau<br>■ couvrent les fonds de gravier et dégradent les frayères<br>■ couvrent les oeufs, qui risquent d'étouffer ou de présenter des anomalies; les alevins sont parfois incapables de sortir des lits de gravier ensevelis par les sédiments. |
| Éléments nutritifs provenant de fosses septiques, fumier et engrais entraînés dans l'eau | ■ favorisent la prolifération d'algues et d'autres plantes aquatiques (eutrophisation), phénomène qui<br>- épuise les réserves d'oxygène dans l'eau, allant parfois jusqu'à faire suffoquer les animaux aquatiques<br>- crée de la turbidité, limitant ainsi la quantité de lumière<br>- étouffe de nombreux organismes vivant au fond de l'eau et pollue les frayères<br>- réduit la diversité biologique, les espèces sensibles étant remplacées par un nombre moindre d'espèces moins désirables. |
| Pesticides entraînés dans l'eau | peuvent (selon les composés en jeu)<br>■ causer directement la mortalité massive de poissons et d'autres organismes aquatiques, interrompant ainsi la chaîne alimentaire<br>■ causer des effets sublétaux sur la reproduction, la respiration, la croissance et le développement, augmentant ainsi la vulnérabilité des organismes à d'autres stress environnementaux, comme les maladies ou la prédation<br>■ provoquer le cancer, des mutations ou des difformités fœtales<br>■ inhiber la photosynthèse chez des plantes non visées<br>■ entraîner une *bioaccumulation* dans les tissus d'un organisme et subir une *bioamplification* le long de la chaîne alimentaire (en particulier pour certains des anciens pesticides dont l'usage n'est plus homologué au Canada). |
| Enlèvement des arbres et des arbustes des rivages | ■ déstabilise les rives et favorise l'érosion<br>■ augmente la sédimentation et la turbidité<br>■ diminue l'ombre et élève la température de l'eau, peut perturber le métabolisme des poissons<br>■ entraîne l'élargissement et le remplissage des canaux. |
| Défrichage, construction de fossés de drainage, redressement des canaux naturels | ■ l'augmentation du débit empêche les poissons de remonter le courant et accroît la sédimentation; plus tard, là où le niveau d'eau descend, les poissons demeurent prisonniers en haut des cours d'eau et les oeufs nouvellement pondus sèchent<br>■ finit par réduire la taille des cours d'eau |

*L.J. Gregorich, Gregorich Research*

**Éléments aqueux d'un bassin hydrographique**



*Cours d'eau*



*Drain agricole*



*Petit étang de ferme*



*Bande de protection riveraine*



*Mouillère*

## Rivières et autres cours d'eau

Les rivières et autres cours d'eau offrent de nombreux habitats qui supportent une variété d'écosystèmes aquatiques et terrestres. Le moindre cours d'eau, même temporaire, fournit un précieux milieu pour les poissons et la faune en général. Les cours d'eau permanents coulent à longueur d'année à la surface. D'autres peuvent entrer sous terre par endroits ou s'assécher durant les étés chauds, ou geler en hiver.

Les cours d'eau tracent naturellement des méandres, empruntant la voie de moindre résistance. Les méandres, en réduisant la pente d'écoulement, ralentissent l'eau en mouvement. De plus, en augmentant la quantité d'eau que le cours d'eau peut retenir, ils réduisent le risque d'inondation en aval. Les canaux latéraux et les bras morts, séparés du canal principal, accroissent aussi la quantité d'eau qu'un cours d'eau peut retenir durant les périodes de crues en plus d'offrir des habitats aquatiques supplémentaires.

**Débit de base**

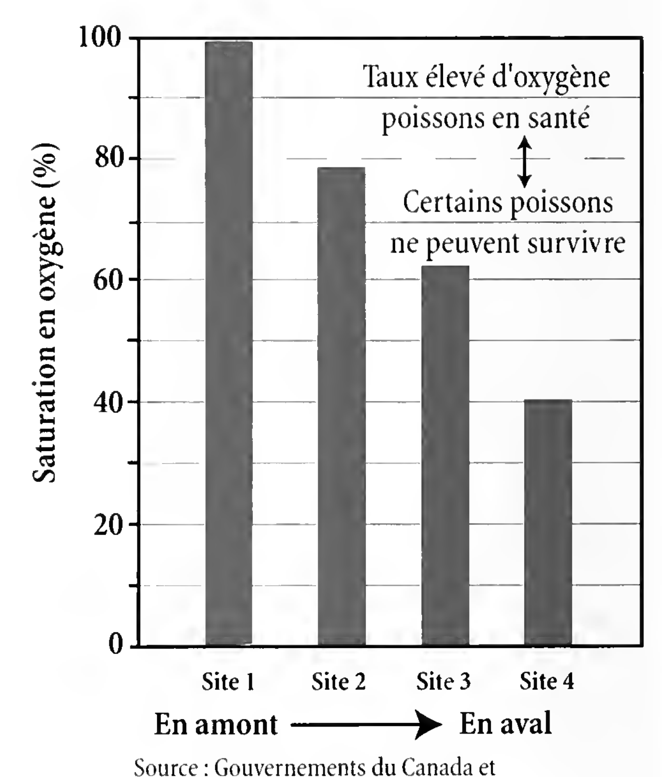
Le débit de base d'un cours d'eau est entretenu par des réservoirs naturels, comme l'eau souterraine et les terres humides. À cela s'ajoute l'apport du ruissellement de surface et de l'écoulement hypodermique (c.-à-d. sous le sol, mais au-dessus de la nappe phréatique). Dans les bassins hydrographiques où l'évacuation de l'eau souterraine est limitée, on voit souvent les cours supérieurs s'assécher au milieu de l'été et le niveau de l'eau dans des sections du tronc principal descendre très bas après de longues périodes de sécheresse. La diminution du débit de base suit souvent le drainage ou le remplissage des terres humides. Celles-ci, en emmagasinant l'eau des précipitations et des écoulements de surface, servent de lieux de recharge ou d'évacuation prolongée. Mais, avec la disparition des terres humides, les eaux souterraines risquent d'être insuffisantes pour maintenir le débit de base des cours supérieurs des rivières. Avec la concurrence accrue pour l'eau entre l'agriculture et les services municipaux et avec la menace d'assèchement que laissent planer d'éventuels changements climatiques (*voir* le chapitre 11), le volume d'eau sous la terre et en surface risque de diminuer davantage dans l'avenir.

Par exemple, le débit de base de certains cours d'eau du sud de l'Ontario a été réduit par le défrichage, le drainage, le remplissage des terres humides et l'érosion du sol au point de leur faire perdre une partie de leurs fonctions écologiques naturelles. Ces changements se sont répercutés sur les bassins hydrographiques au complet en augmentant la température de l'eau, les concentrations de sédiments et d'éléments nutritifs et les écoulements d'eaux pluviales.

**Qualité de l'eau**

Le phosphore et l'azote sont des éléments nutritifs essentiels au développement des algues et des plantes vasculaires aquatiques (les producteurs primaires) dans les écosystèmes aquatiques. Dans ceux où la quantité d'éléments nutritifs est limitée, la moindre augmentation de leur concentration stimule la productivité à tous les niveaux trophiques. Dans la plupart des cas, le phosphore est le facteur limitant. Or, lorsque des cours d'eau lents sont trop enrichis d'éléments nutritifs, ils s'eutrophisent (*voir* l'encadré p. XX sur les effets de l'eutrophisation). De la matière consommatrice d'oxygène est aussi ajoutée aux eaux de surface par les eaux usées et les effluents industriels et, sous forme de substances organiques transportées par ruissellement (p. ex. feuilles, fumier). L'eutrophisation est plus probable lorsque les éléments nutritifs proviennent de plusieurs sources. Même si la quantité d'oxygène dissous diminue naturellement à mesure que l'eau s'écoule, l'activité humaine se fait particulièrement sentir.

Par exemple, dans une région de la vallée du bas Fraser en Colombie-Britannique où l'on a étudié la qualité de l'eau, le cours supérieur d'une rivière qui traversait une forêt (site n° 1, fig. 7-1) présentait des




Source : Gouvernements du Canada et Colombie-Britannique, 1997

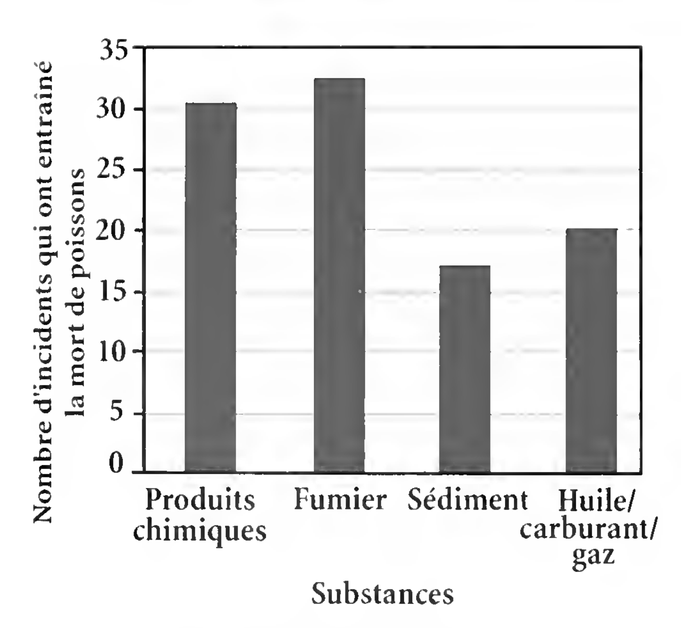
**Figure 7-1**
**Oxygène dissous dans un cours d'eau (C.-B.)**

concentrations d'oxygène dissous suffisantes pour assurer l'existence de plusieurs espèces de poissons (98 % de saturation). Mais la qualité de l'eau s'est détériorée lorsque la rivière est passée plus bas par des terres agricoles et urbaines. Au site n° 2, elle a été légèrement dégradée par une agglomération urbaine. Après avoir coulé sur de nombreux kilomètres à travers des terres agricoles, l'eau au site n° 3 n'était plus saturée d'oxygène dissous qu'à 63 %, empêchant ainsi les saumons de remonter la rivière pour frayer. Au site n° 4, situé à l'embouchure d'un affluent qui drainait des terres agricoles sous culture intensive, les concentrations d'oxygène dissous étaient tellement basses que certaines espèces de poissons ne pouvaient y survivre.

Une préoccupation croissante est la contamination de l'eau par le fumier. Les poissons souffrent parfois de l'augmentation des concentrations d'ammoniaque qui s'en suivent. À long terme, au fur et à mesure que le fumier se décompose, les bactéries consomment l'oxygène disponible, ce qui fait suffoquer les poissons. Les éléments nutritifs contenus dans le fumier favorisent aussi la croissance des algues et des plantes vasculaires aquatiques, qui épuisent encore davantage les réserves d'oxygène lorsqu'elles meurent et se décomposent.

Dans une étude encore en cours en Ontario, le fumier se classe au premier rang des agents de mortalité massive des poissons (fig. 7-2). De 1988 à 1996, 207 déversements accidentels de fumier ont été signalés, dont 175 dans le sud-ouest de la province. La plupart sont survenus durant l'épandage, mais 12 % ont été causés par une capacité insuffisante ou des défauts structurels des installations d'entreposage du fumier. Parmi ces déversements,

- 14 % ont provoqué une mortalité massive de poissons
- tous sauf un venaient d'entrepôts de lisier
- plus de 40 % résultaient d'une irrigation avec du lisier, le reste étant lié à des problèmes d'équipement ou de transbordement du fumier
- 60 % comportaient la contamination de canalisations souterraines de drainage.




Source : Environnement Canada, 1998

**Figure 7-2**
**Principales causes de mortalité chez les poissons signalées en Ontario entre 1988–1997**

### Berges et lits

Les racines des plantes qui poussent sur les berges en limitent l'érosion en retenant le sol en place. Les cours d'eau bordés d'arbres et d'arbustes ont tendance à être étroits et profonds, tandis que ceux aux berges érodées s'élargissent et se remplissent. Les berges et les lits des cours d'eau peuvent se dégrader sous l'action de plusieurs pratiques agricoles, comme un labour trop rapproché du haut de la berge, le libre accès du bétail à des endroits où le sol s'érode beaucoup (c.-à-d. entre le sommet de la berge et le bord de l'eau) et le passage des troupeaux ou des machines à travers le cours d'eau.

L'érosion du sol augmente la charge des cours d'eau en sédiments et les contamine avec des substances (éléments nutritifs, pesticides et bactéries) attachées aux particules de sol. Des contaminations et sédimentations élevées affectent la vie aquatique de nombreuses façons (*voir* l'encadré, p. 83). On sait que certains poissons dépendent d'habitats précis pour se reproduire. Or, le dépôt de sédiments sur les frayères de pierres ou de gravier peut étouffer les oeufs de poissons et compromettre le frai.

L'enlèvement de la végétation riveraine peut, en modifiant la forme et la stabilité des cours d'eau, entraîner la dégradation des habitats et accroître les

*Installation de LUNKERS pour la mise en valeur des cours d'eau*



## Étude de cas
## Effet de la remise en état du ruisseau Mink (Manitoba) sur la reproduction du doré jaune

Le ruisseau Mink est l'un des affluents s'écoulant dans le lac Dauphin (Manitoba). Jusqu'en 1950, le lac entretenait une abondante pêche commerciale et sportive de doré jaune, mais les récoltes de poissons ont chuté de 90 à 95 % au fil des ans. L'une des principales causes de ce déclin a été la canalisation poussée des affluents en vue d'améliorer le drainage agricole et de réduire l'inondation printanière. Les canaux ont été redressés et leur pente a été uniformisée, avec pour conséquences le raccourcissement de la période de ruissellement printanière et l'élimination de la plupart des étangs et des rapides, habitats utilisés par le doré jaune pour frayer et couver ses oeufs.

Avant de commencer la remise en état du ruisseau Mink dans le but de restaurer l'habitat du doré jaune, on a observé le comportement de frai de ce poisson pendant plusieurs années dans les tronçons de frai naturels d'une rivière voisine. On a découvert que le doré jaune frayait près des crêtes des rapides, derrière les grosses roches émergeant à la surface des rapides et dans les grands remous horizontaux des étangs situés en amont. Les oeufs fertilisés dérivaient jusque dans les zones de rapides puis se déposaient en eau calme derrière les gros cailloux et les roches ou à leur base. Certains oeufs étaient transportés à travers les rapides et déposés à la tête du bassin situé en aval.

La remise en état du ruisseau Mink a débuté en 1985, et une série de bassins et de rapides ont été construits dans trois sections expérimentales du cours d'eau canalisé. On a suivi pendant six ans le succès du frai du doré jaune en comparant les habitats rapides-bassins dans des sections laissées telles quelles ou remises en état du canal. Des débits printaniers dans le ruisseau dépendaient la fréquence et l'emplacement du frai chez le doré jaune. En 1989 et en 1991, les débits n'ont pas été assez élevés pour que ce poisson remonte le ruisseau pour frayer. En 1988, ils ont limité la migration du doré jaune en amont de sorte que l'on a observé de plus fortes densités d'oeufs dans la zone remise en état située dans le bas du ruisseau. Les années de forts débits (1987 et 1990), les densités d'oeufs étaient plus fortes dans la section supérieure laissée telle quelle. La viabilité des oeufs provenant des sections canalisées et de celles remises en état a été similaire, les oeufs vivants constituant en moyenne 68 et de 73 % respectivement des échantillons de toutes les années.

L'abrasion des oeufs et leur dérive étaient considérées comme un problème grave, car des oeufs viables pouvaient se déposer et mourir dans des zones de forte sédimentation près du lac Dauphin. Tous les ans, la dérive des oeufs à partir des trois types d'habitat (remis en état à un rapide, remis en état à deux rapides et laissé tel quel) a été reliée à la densité des oeufs et au débit d'eau. En ce qui concerne les densités d'oeufs, la dérive était une fois et demie supérieure à partir de la section canalisée par rapport aux sections remises en état (voir le tableau). Celles-ci semblaient piéger et retenir les oeufs qui provenaient de la section canalisée située en amont.

**Aspects du succès du frai du doré jaune dans le ruisseau Mink (Manitoba)**

| Mesure | Type de tronçon | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Densité moyenne d'oeufs (captures/m$^2$) | Remis en état, rapide unique | <1 | 1 | 20 | 0 | 29 | 0 |
| | Remis en état, rapide double | – | 4 | 7 | | 41 | |
| | Laissé tel quel | 3 | 8 | 5 | | 66 | |
| Dérive moyenne des oeufs (captures/24 h) | Remis en état, rapide unique | 19 | <1 | 168 | 0 | 567 | 0 |
| | Remis en état, rapide double | – | 0 | 233 | | 1251 | |
| | Laissé tel quel | 166 | 2 | 41 | | 3701 | |
| Densité moyenne de la dérive des larves (captures/h/100 m$^3$ d'eau filtrée) | Remis en état, rapide unique | <1 | 5 | 1 | 0 | 11 | 0 |
| | Remis en état, rapide double | – | 4 2 | 2 | | Pas de données | |
| | Laissé tel quel | <1 | 16 | <1 | | Pas de données | |

*Source : Newbury et Gaboury, 1993*

coûts d'entretien des canaux et d'application de mesures correctives. Dans de nombreuses parties du pays, on s'affaire à remettre en état des cours d'eau pour améliorer la qualité de l'eau et restaurer des habitats aquatiques (*voir* l'Étude de cas — ruisseau Mink, p. 86).

## Drains agricoles

Dans les régions agricoles humides du Canada, les champs sont souvent assainis artificiellement pour les rendre plus faciles à cultiver (*voir* chapitre 10). Généralement, l'eau de drainage s'écoule d'abord dans des canaux creusés puis dans des cours d'eau naturels. Le drainage artificiel peut modifier l'hydrologie en aval, aggraver l'érosion et l'inondation des terres ainsi que dégrader l'eau et les habitats des poissons. Toutefois, des mesures d'atténuation ont été mises au point dans certains cas pour faire de ces canaux des milieux propices pour les poissons et autres formes de vie aquatique (*voir* l'encadré ci-contre).

Deux mesures peuvent être prises pour améliorer le drainage agricole :

- Les mesures d'*atténuation*, comme l'aménagement approprié des rives et leur engazonnement, améliorent le rendement des drains en réduisant l'érosion et la sédimentation
- Les mesures d'*amélioration* des canaux, comme l'ajout d'étangs et de rapides, en améliorent l'aménagement comme habitats de la faune en général et des poissons en particulier.

Certains éléments de remise en valeur peuvent avoir un effet bénéfique à la fois sur le drainage et sur les habitats fauniques. Par exemple, l'installation d'étangs et de rapides aux bons endroits peut améliorer le fonctionnement d'un système de drainage, en augmenter la stabilité et en accroître la capacité à transporter des sédiments et de l'eau durant les crues, tout en rendant cet habitat plus favorable pour les poissons. Des zones tampons aménagées le long des rives des canaux offrent un milieu de transition pour la faune et, en piégeant les sédiments, font diminuer la fréquence de nettoyage des canaux de drainage et les coûts assiciés. La présence de ces zones tampons fait en sorte également que les activités agricoles, comme le travail du sol et l'application de pesticides, se font à une distance minimale de l'eau.

Certains anciens drains agricoles ne sont plus nécessaires à cause des changements survenus dans l'utilisation des terres et les pratiques agricoles. Ils avaient été construits à l'origine pour réduire l'étendue des terres humides et les drainer pour la culture en lignes, ou encore pour assainir des terres maintenant considérées comme marginales pour l'agriculture. Aujourd'hui, ces terres ne sont souvent plus exploitées par les agriculteurs, et les anciens drains ne servent que pour les boisés et les

### Gestion du drainage agricole pour assurer l'existence de la faune

Une bonne partie des terres agricoles de l'Ontario sont sillonnées par un réseau de drains superficiels et souterrains qui évacuent l'excès d'eau des champs dans des fossés ou des cours d'eau naturels. L'aménagement traditionnel de ces canaux entraîne souvent une piètre qualité de l'eau ainsi que la dégradation ou la perte d'habitats pour les poissons et la faune en général.

Dans le cadre du Plan vert agricole Canada-Ontario, un projet quadriennal (1993–1997) appelé Managing Agricultural Drains to Accommodate Wildlife (aménagement des drains agricoles pour assurer l'existence de la faune) a été entrepris dans le but d'améliorer la qualité de l'eau des drains agricoles et étendre les habitats fauniques. L'objectif de chacun des quatre lieux de démonstration était de trouver des moyens pratiques et efficaces de tenir compte des besoins des poissons et de la faune en général dans la conception et l'entretien des réseaux de drainage tout en conservant ou en améliorant les sorties de drainage et en réduisant les coûts.

L'un des quatre lieux était le drain municipal de James Berry dans la région de Haldimand-Norfolk. Ce drain de 6 kilomètres se vide dans le marais du ruisseau Big, terre humide de catégorie 1, sur le lac Érié. En 1992, le drain a été amélioré pour inclure des bandes tampons continues de 9 mètres de large, des bassins de sédimentation et un étang de rétention assorti d'une installation de contrôle de l'eau et une passe contournant cette structure. Le drain est un lieu de pêche à température élevée qui assure l'existence de brochets frayants. Ce lieu d'observation a permis d'évaluer l'efficacité des mesures entreprises ainsi que différentes techniques d'entretien des drains.

Les bandes de végétation tampons avaient été plantées à l'origine avec des graminées exotiques qui ont malheureusement permis l'envahissement de plus de 11 % du couvert par des adventices nuisibles. Cette proportion est descendue à environ 6 % avec l'implantation d'espèces indigènes. Les criquets sont maintenant abondants à cause de la présence de sources naturelles de nourriture, mais on n'a pas constaté d'augmentation de la déprédation des cultures. De vastes essaims de papillons monarques se perchent à cet endroit pendant leur migration. Les insectes ont attiré un nombre croissant d'oiseaux.

L'échantillonnage de l'eau passant à travers les postes d'observations situés le long du drain a montré une baisse importante des concentrations de nitrates. L'aménagement d'un bassin-réservoir et de la fosse migratoire, après quelques rajustements apportés à leur conception, en assure l'utilisation accrue par les brochets et le succès de leur frai. En effet, le nombre de brochets utilisant la passe est passé de 2, la première année, à 68 dans la dernière année de surveillance.

Le projet a été dirigé par le Service canadien de la faune d'Environnement Canada et coordonné par l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario.

*P. Bryan-Pulham, municipalité de Norfolk*

marécages. Ce changement de vocation a été l'occasion pour les gestionnaires des terres d'explorer des stratégies correctives qui arrêtent ou réduisent l'écoulement d'eau de ces terres et rendent une partie de leurs fonctions naturelles aux terres humides locales, multipliant ainsi les habitats fauniques et augmentant l'alimentation des eaux souterraines.

## Plaines inondables

Les plaines inondables sont les terres planes et basses qui bordent les cours d'eau. Lorsqu'une rivière atteint sa pleine capacité et déborde, comme à la fonte des neiges et après un orage, la plaine inondable reçoit l'excès d'eau. Les plaines inondables jouent un rôle important dans le bassin hydrographique, en

- recevant les sédiments que déposent les crues
- en absorbant et conservant l'eau durant les inondations et les pluies; cette eau approvisionne les plantes, y compris les cultures, durant les mois secs de l'été
- en offrant à la faune de vastes habitats qui assurent l'existence de diverses communautés végétales et animales
- en offrant des refuges aux poissons durant les inondations.

Lorsqu'on améliore le drainage pour permettre une évacuation rapide de l'eau, la plaine inondable a moins de chance d'absorber l'eau. L'abaissement de la nappe phréatique et de l'apport aux eaux souterraines qui en résulte diminue la quantité d'eau qui est disponible durant les mois secs de l'été aux communautés végétales et animales aussi bien naturelles qu'agricoles. Le développement urbain et résidentiel des plaines inondables entraîne la création d'un couvert imperméable et l'application de moyens pour protéger les zones développées contre l'inondation. Cela réduit leur superficie naturelle et augmente le débit d'eau, l'érosion et les dégâts causés en aval (*voir* le chapitre 10).

## Lacs et étangs

Les lacs et les étangs offrent une variété d'habitats aquatiques. La *zone littorale* — cette bande où les rayons du soleil atteignent le fond, habituellement les eaux peu profondes près de la rive (jusqu'à 5 mètres de profondeur, selon la turbidité) — est la partie la plus productive des lacs et des étangs. Cet habitat diversifié abrite toute une variété d'oiseaux de rivage et de sauvagine, de poissons, d'amphibiens, de reptiles, de mammifères et de plantes. La plupart des espèces de poissons, aussi bien d'eau froide que d'eau chaude, dépendent de ce milieu pour la satisfaction des besoins durant les premiers stades de vie (p. ex. durant le frai ainsi que pour les stades larvaire et juvénile), même si elles ont leur préférence quant à ce type d'habitats.

Un apport excessif d'éléments nutritifs dans l'eau des lacs et des étangs peut favoriser l'eutrophisation, de la même façon que pour les cours d'eau. On a fait grand état de ce phénomène dans les Grands Lacs, surtout dans le lac Érié, dans les années 1960 et 1970. Des moyens de lutte contre la pollution ayant été appliqués, la baisse ultérieure de la charge de phosphore et l'augmentation du rapport azote:phosphore dans le lac Érié ont entraîné une réduction de 40 % de la biomasse totale du phytoplancton à la fin des années 1970 et de 65 % au milieu des années 1980 dans le bassin ouest. La composition des espèces d'algues s'est modifiée dans les eaux littorales, et l'abondance et la biomasse des espèces nuisibles avaient diminué de 85 % au milieu des années 1980. Durant cette période, la composition de la population de poissons a changé elle aussi, d'une part à la suite des modifications survenues dans les concentrations d'éléments nutritifs et, d'autre part, à cause de l'introduction de nouvelles espèces. Dans le sud du lac Michigan, la densité des principaux grands *invertébrés benthiques* a diminué de façon spectaculaire dans les eaux littorales entre 1980 et 1993, en raison principalement des réductions planifiées de la charge d'éléments nutritifs et d'une baisse générale de la productivité.

L'enrichissement en éléments nutritifs continue de poser un problème dans certains lacs et étangs qui en reçoivent des terres agricoles. En 1992, des chercheurs ont étudié les effets des engrais sur la structure et le fonctionnement de la communauté microbienne du lac Redberry, lac salin, oligotrophe d'une superficie de 45 kilomètres carrés dans le centre-sud de la Saskatchewan. Sauf pour une étroite zone tampon composée de broussailles, de forêts de peupliers et d'herbages, ce lac est entièrement entouré de terres cultivées. Puisqu'il est situé dans un bassin hydrologique fermé, tous les herbicides et éléments nutritifs qui y entrent à la suite d'activités agricoles y restent. L'étude des microcosmes en laboratoire a montré que l'ajout à la fois d'azote et de phosphore provoquait une augmentation de la biomasse du phytoplancton et stimulait la croissance et la prolifération des bactéries.

Un excès d'éléments nutritifs peut avoir des effets toxiques sur les organismes (tableau 7-1). En effet, des études de laboratoire ont montré des effets létaux et sublétaux chez plusieurs espèces communes de grenouilles à des concentrations de nitrates supérieures à 2,5 milligrammes par litre. Les effets sublétaux incluaient une altération de la croissance et du développement pouvant entraîner un retard de maturation et la sortie de l'eau avant terme. Cette anomalie pouvait à son tour, en limitant la capacité de ces amphibiens de se déplacer en milieu terrestre, les exposer davantage aux prédateurs et au dessèchement. Des études réalisées récemment dans le bassin des Grands Lacs ont montré que les concentrations de nitrates dans environ 19 % des échantillons d'eaux de surface étaient suffisamment élevées pour occasionner des anomalies de développement et 3 % l'étaient assez pour tuer des amphibiens dans des expériences de laboratoire. L'application printanière d'engrais azotés et la période de reproduction des amphibiens coïncidant, cette période est particulièrement critique.

Un apport excessif d'éléments nutritifs peut aussi favoriser le développement d'organismes potentiellement toxiques. Dans les eaux intérieures, des algues dangereuses appelées *cyanobactéries* se développent dans des eaux de surface chaudes, stratifiées, qui sont enrichies en phosphore et pauvres en azote. Ces cyanobactéries produisent des *neurotoxines* et des *hépatotoxines* qui ont été fatales dans le passé pour les poissons et le bétail qui les avaient ingérées. Dans les eaux côtières, un enrichissement en éléments nutritifs peut stimuler la croissance de certaines algues qui libèrent des toxines, lesquelles peuvent s'accumuler dans les coquillages. Ces animaux sont eux-mêmes peu touchés, mais les toxines peuvent être extrêmement dangereuses pour les humains. Un foyer d'intoxication alimentaire provoqué en 1987 par la consommation de moules contaminées a été lié à la production d'une toxine par des algues marines dont le développement avait été stimulé par des éléments nutritifs, surtout des nitrates, provenant d'une rivière qui traversait un district agricole de l'Île-du-Prince-Édouard. La prolifération d'algues aurait été occasionnée par des ruissellements chargés de nitrates durant un automne excessivement humide succédant à un long été sec.

Les pesticides qui entrent dans les lacs et les étangs sont capables de perturber le métabolisme des organismes à tous les niveaux de la chaîne alimentaire dans l'écosystème aquatique. Une étude a été effectuée sur les effets toxiques de 14 herbicides et de 2 fongicides sur les

**Tableau 7-1**
**Toxicité des nitrates pour les amphibiens ainsi que pour leurs proies et leurs prédateurs**

| Amphibien | Stade biologique | Effet observé | Concentration de nitrates (mg/L) |
|---|---|---|---|
| Rainette faux-criquet | Têtard | 50 % de mortalité après 96 heures | 17 |
| | | Effet sur la croissance | 2,5–10 |
| Grenouille léopard | Têtard | 50 % de mortalité après 96 heures | 22,6 |
| | | Effet sur la croissance | 2,5–10 |
| Grenouille verte | Têtard | 50 % de mortalité après 96 heures | 32,4 |
| | | Effet sur la croissance | 2,5-10 |
| Crapaud d'Amérique | Têtard | 50 % de mortalité après 96 heures | 13,6<br>39,3<br>(deux études) |
| Phrygane | Larves | 50 % de mortalité après 96 heures | 113,5 |
| Truite arc-en-ciel | Oeufs et alevins | 46 % de mortalité | 2,3 |
| Truite fardée | Oeufs et alevins | 41 % de mortalité | 4,5 |

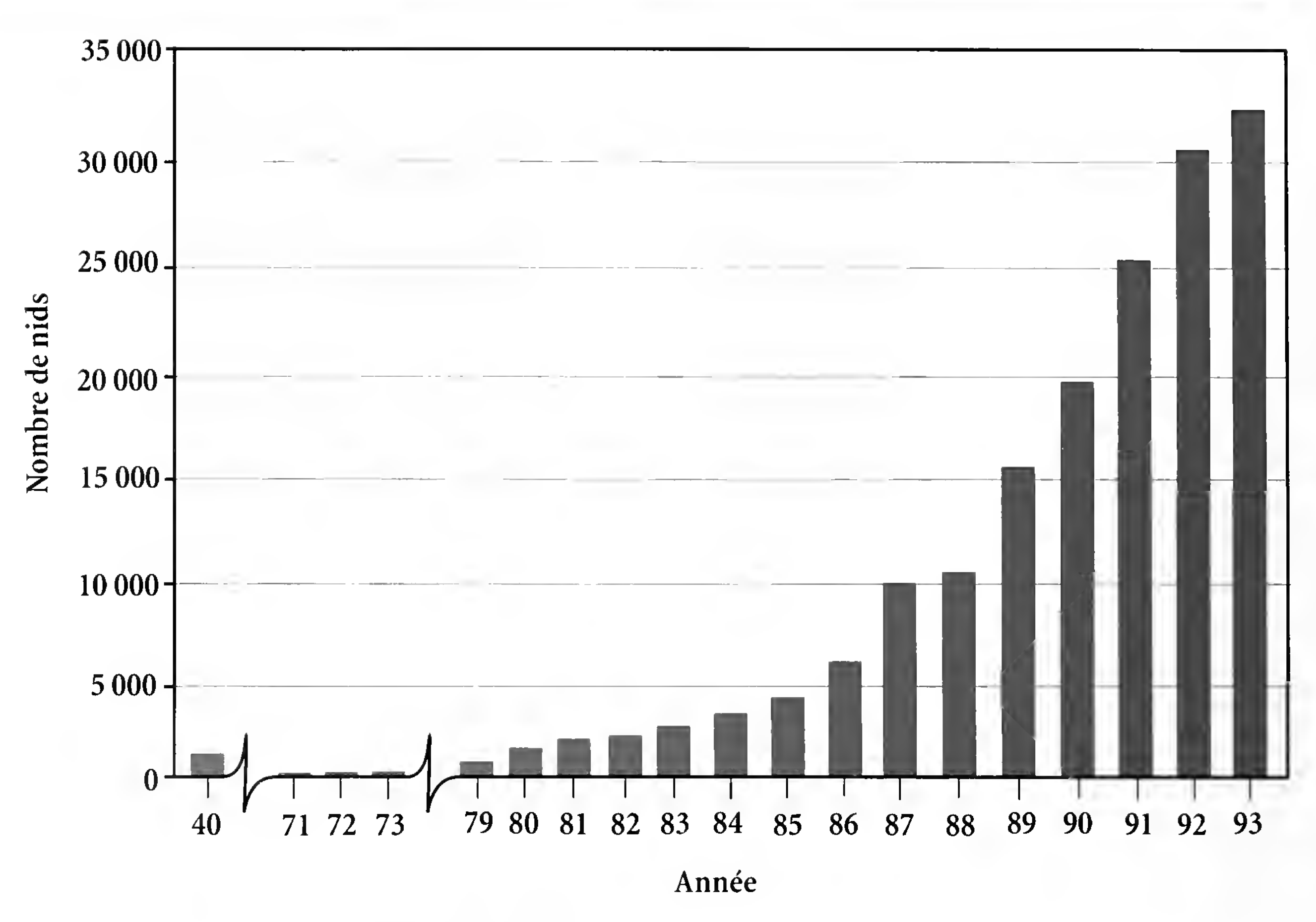
Source : Rouse et al., 1999.

**Tableau 7-2**
**Concentration de certains pesticides (mg/L) suffisante pour réduire de 50 % le taux d'absorption du carbone, du phosphate et de l'ammonium dans le plancton**

| Herbicide | Carbone | Phosphate | Ammonium |
|---|---|---|---|
| Atrazine | 0,10 | 14 | >33 |
| Simazine | 0,13 | >33 | S/O |
| Prométryne | 0,022 | >33 | >33 |
| Diuron | 0,0079 | >33 | 25 |
| Dinosèbe | 1,00 | 12 | 5,0 |
| 2,4-D | >33 | >33 | >33 |
| Trifluraline | 1,02 | >33 | 2,2 |

Source : Brown et Lean, 1994.

**Figure 7-3**
**Populations de cormorans à aigrettes dans les Grands Lacs**




Adaptation d' Environnement Canada, 2000

communautés planctoniques du lac de Jack (Ontario). On a découvert que les herbicides qui inhibaient spécifiquement la photosynthèse étaient particulièrement néfastes à l'absorption de carbone par le phytoplancton, tandis que ceux qui se répercutaient sur d'autres fonctions du métabolisme cellulaire nuisaient surtout à l'absorption de phosphore et d'ammonium. Le tableau 7-2 montre la toxicité de certains de ces pesticides pour le phytoplancton, mesurée d'après l'absorption de ces trois substances.

Dans une étude réalisée en 1992, des chercheurs ont étudié les effets du triallate (herbicide communément utilisé dans les Prairies pour lutter, à la fois, contre la folle avoine et d'autres adventices dicotylédones) sur la communauté microbienne du lac Redberry (Saskatchewan). Ils ont découvert que la biomasse du phytoplancton diminuait sensiblement à des concentrations de triallate supérieures à 1 000 microgrammes par litre. À cause de ses effets négatifs sur le phytoplancton, il a été recommandé d'éviter d'appliquer cet herbicide près des terres humides. Par contre, il ne semblait pas avoir d'effets négatifs sur les bactéries à n'importe quelle concentration et, en fait, en a stimulé la croissance et la multiplication si de l'azote et du phosphore étaient également ajoutés.

Durant les années 1960 et 1970, l'amincissement des coquilles d'oeuf puis l'infécondité de plusieurs espèces d'oiseaux, y compris le pygargue à tête blanche, ont été liés à la contamination par les pesticides organochlorés des Grands Lacs. L'emploi de ces pesticides ayant été abandonné, de nombreuses populations d'oiseaux aquatiques ont récupéré de manière spectaculaire, mais aucune autant que celle du cormoran à aigrettes (figure 7-3).

Bien que les pesticides organochlorés extrêmement persistants ne soient généralement plus employés au Canada (sauf l'endosulfan), on continue de les détecter largement dans les lacs canadiens. Déposés ici par les précipitations, ils sont transportés sur de grandes distances à partir de pays où leur usage continue. Elle peut aussi être due à la longue demi-vie de certains d'entre eux (p. ex. 15 ans pour le DDT). Les concentrations de ces pesticides varient aussi bien dans l'espace que dans le temps. Dans une étude effectuée en 1986, on a détecté des organochlorés dans 33 lacs du sud de l'Ontario. De fortes concentrations ont été découvertes dans le plancton des lacs où la biomasse totale était moindre, démontrant ainsi un effet de dilution par la biomasse (plus la biomasse est grande pour absorber les contaminants, plus le niveau de contamination d'un organisme en particulier est bas même si la quantité totale de contaminants demeure identique).

## Zones riveraines

Les zones riveraines sont des bandes de terre qui sont colonisées par la végétation le long des rivières, des ruisseaux, des fossés de drainage, des lacs, des marécages, des terres humides, des canaux et des sources ainsi que dans des *coulées*. Leurs bienfaits sont nombreux, entre autres

- elles aident à réduire l'effet des inondations (*atténuation des inondations*) en emmagasinant l'eau durant les crues
- elles sont un lieu où les eaux souterraines se réalimentent ou évacuent leur trop-plein
- elles retiennent les éléments nutritifs et en limitent le déplacement dans les voies d'eau
- elles réduisent la sédimentation et aident à conserver la couche arable.

Les zones riveraines où se dressent arbres et arbustes, en jetant de l'ombre sur les cours d'eau, en réduisent la température.

L'eau et les terrains en pente des zones riveraines créent des conditions propices à l'existence de plantes et d'animaux différents de ceux qui habitent les terres voisines, y compris les terres agricoles. Ces zones constituent pour les animaux des sources d'eau et de nourriture, et elles leur servent d'abris contre les intempéries et de lieux sûrs pour élever leurs petits et éviter les prédateurs. Les écozones riveraines comptent parmi les plus productives et les plus biodiversifiées de la planète. Dans les Prairies canadiennes, par exemple, des études ont montré que la plupart des espèces d'animaux sauvages passaient au moins un stade de leur cycle biologique dans un écosystème riverain. Les zones riveraines procurent aussi des couloirs de déplacement à certaines espèces lorsqu'elles passent d'une région à l'autre.

À mesure que les fermes ont pris de l'expansion et que l'agriculture s'est intensifiée, les cultures ont été pratiquées de plus en plus près du bord des cours d'eau, ce qui a entraîné la disparition d'une bonne partie des zones riveraines au fil des ans. Ce phénomène a entraîné non seulement le rétrécissement des habitats fauniques terrestres, mais aussi la perte de la zone tampon séparant les terres agricoles des cours d'eau. La restauration des zones riveraines est un volet primordial de nombreux plans de remise en état des cours d'eau (*voir* l'étude de cas du ruisseau de Purpleville).



*Plantation d'arbres dans une bande de protection riveraine*

## Terres humides

Les terres humides sont des étendues de terrains qui sont saturés d'eau suffisamment longtemps pour que leur sol et leur végétation en soient significativement modifiés et que la vie aquatique soit favorisée. Les cinq principaux types de terres humides (tourbières oligotrophes, tourbières minérotrophes, marécages, marais et eaux peu profondes) se caractérisent par :

- une couverture saisonnière ou permanente d'eau peu profonde;
- une nappe phréatique à égalité de la surface ou presque pendant la majeure partie de la saison de croissance;
- des sols organiques saturés ou *tourbe*, dont la productivité dépend du pH ainsi que de la qualité des éléments nutritifs;
- la présence de plantes hydrophiles, comme les quenouilles, les joncs, les roseaux, les carex, les cornouillers, les saules et les cèdres.

Plus de 14 % de son territoire étant constitué de terres humides, le Canada possède environ 24 % des terres humides de la planète. La perte des terres humides s'est accélérée à mesure que des superficies ont été converties à l'agriculture. Beaucoup ont été drainées pour la mise en cultures ou d'autres formes de développement. Dans le sud du Canada, plus de la moitié des terres humides originales ont été drainées, environ 85 % à cause de l'agriculture.

## Bienfaits des terres humides

Les terres humides procurent de nombreux bienfaits sur le plan environnemental, en

- offrant un habitat pour la faune
- servant de filtres biologiques et d'étangs de sédimentation et de filtrage, ce qui améliore la qualité de l'eau par le retrait des impuretés
- réalimentant la nappe phréatique
- augmentant les bas débits des cours d'eau
- atténuant l'effet de la sécheresse
- réduisant les risques d'inondation et les dommages causés par les crues par l'emmagasinage de grandes quantités d'eau durant les pluies abondantes, les dégels rapides ou les périodes de ruissellement
- stabilisant les rives.

Les terres humides présentent aussi un potentiel récréatif, éducatif et économique : canotage, pêche, chasse, écotourisme, sorties d'écoliers et récolte de ressources (p. ex. le riz sauvage).

Les terres humides canadiennes sont particulièrement connues pour assurer l'existence de la sauvagine nord-américaine. Toutefois, d'autres populations aviaires, y compris les passereaux, les oiseaux de rivage et les rapaces, y vont pour se nicher, s'abriter ou s'alimenter. Les terres humides sont également importantes pour la faune non aviaire. Par exemple,

- elles procurent un milieu de reproduction essentiel pour de nombreuses espèces d'amphibiens et de reptiles
- elles sont des lieux privilégiés, associées à des lacs ou à des rivières, pour un grand nombre d'espèces de poissons d'eau douce en quête d'eaux peu profondes pour s'abriter, frayer et élever leurs petits
- elles constituent l'habitat premier pour certains mammifères adaptés à des conditions aquatiques (p. ex. castors et rats musqués) et l'habitat secondaire pour d'autres espèces terrestres qui y font des incursions occasionnelles dans le but d'échapper à des prédateurs, se reproduire et y trouver de la nourriture (p. ex. ratons laveurs, musaraignes et orignaux).

Cette énorme biodiversité est un phénomène habituel dans les terres humides à cause de l'interconnexion unique de l'eau et de la terre. Comme zones de transition, celles-ci sont extrêmement productives parce qu'elles procurent des lieux de reproduction et d'alimentation à des milliers d'espèces d'invertébrés qui sont à la base des chaînes alimentaires. Directement ou indirectement, ces invertébrés contribuent au maintien d'habitats cruciaux qui assurent l'existence de 23 espèces d'oiseaux, de mammifères, d'amphibiens et de reptiles ainsi que de nombreuses espèces de poissons et de végétaux, actuellement considérées comme menacées au Canada.

En diversifiant l'habitat offert par le paysage et en abritant des espèces qui utilisent de nombreux milieux, les terres humides contribuent aussi pour beaucoup à la biodiversité des écosystèmes voisins. Par exemple, le cerf ou l'orignal habitent communément la forêt caducifoliée en hiver lorsque des conifères épais, généralement associés à des marécages, procurent non loin de là une couverture thermique.

## Habitat pour la sauvagine

La sauvagine, comme les canards et les oies, dépend des milieux humides pour se reproduire, se nourrir et s'abriter. L'importance de ces habitats est telle que, dans les Prairies, leur disponibilité détermine l'abondance des espèces. Par exemple, des études montrent que les populations de canards pilets fluctuent avec le nombre de milieux humides, selon les cycles d'humidité et de sécheresse. Les Prairies sont utilisées par

- 37 % des canards nord-américains et 50 % des oies du Canada pour la reproduction
- 99 % des oies rieuses, 83 % des petites oies des neiges et 100 % des oies de Ross comme halte durant la migration.

La sauvagine souffre aussi de la piètre qualité de l'eau. On a découvert que la sédimentation et l'eutrophisation des cours d'eau réduisaient le nombre d'insectes aquatiques dont elle se nourrit et limitaient la visibilité des canards plongeurs. Les pesticides peuvent aussi réduire la disponibilité de la nourriture et les herbicides, le couvert végétal dont elle a besoin. Outre leurs effets potentiels sur l'habitat, certains pesticides peuvent empoisonner directement les oiseaux adultes et leur progéniture s'ils sont ingérés au-delà d'une certaine quantité et peuvent les tuer ou menacer leur survie par des incidences moins visibles (p. ex. en perturbant leur comportement alimentaire, reproducteur et parental).

De nombreux agriculteurs utilisent maintenant des moyens pour favoriser la présence de sauvagine sur leurs terres, par exemple en

- cultivant des fourrages sur des terres marginales où la sauvagine peut nicher
- retardant la fauche jusqu'à ce que les jeunes aient quitté les lieux de nidification

## Étude de cas
## Remise en état du ruisseau de Purpleville (Ontario)

Le Projet de remise en état du ruisseau de Purpleville a été lancé en 1995 dans le but de restaurer l'un des derniers cours d'eau à omble de fontaine qui restait dans la région de Toronto. Le ruisseau de Purpleville est un petit affluent (16 kilomètres) d'eau froide de la rivière East Humber. Le broutage par le bétail et l'urbanisation ont eu un effet dévastateur sur le couloir riverain. Une érosion excessive des berges due au piétinement, le broutage de la végétation et le ruissellement du fumier dans le ruisseau étaient vus comme les principales causes de la piètre qualité de l'eau et de l'augmentation de sa température. De plus, une mauvaise conception des ponceaux avait entraîné une *fragmentation de l'habitat* (conséquence de la modification ou de l'adaptation du paysage par les humains à leurs propres fins).

La présence de l'omble de fontaine et du méné long dans le ruisseau de Purpleville a consacré l'importance de protéger cet habitat. Ces deux poissons sont particulièrement sensibles à la dégradation du milieu riverain. La sédimentation, la destruction du couvert végétal naturel, la canalisation et la pollution provenant de sources agricoles, domestiques et industrielles réduisent le nombre d'habitats et de sources alimentaires convenant à ces espèces.

Les objectifs du projet étaient d'améliorer la qualité de l'eau et la diversité des communautés de poissons ainsi que d'augmenter les populations d'omble de fontaine et de mené long par les moyens suivants :

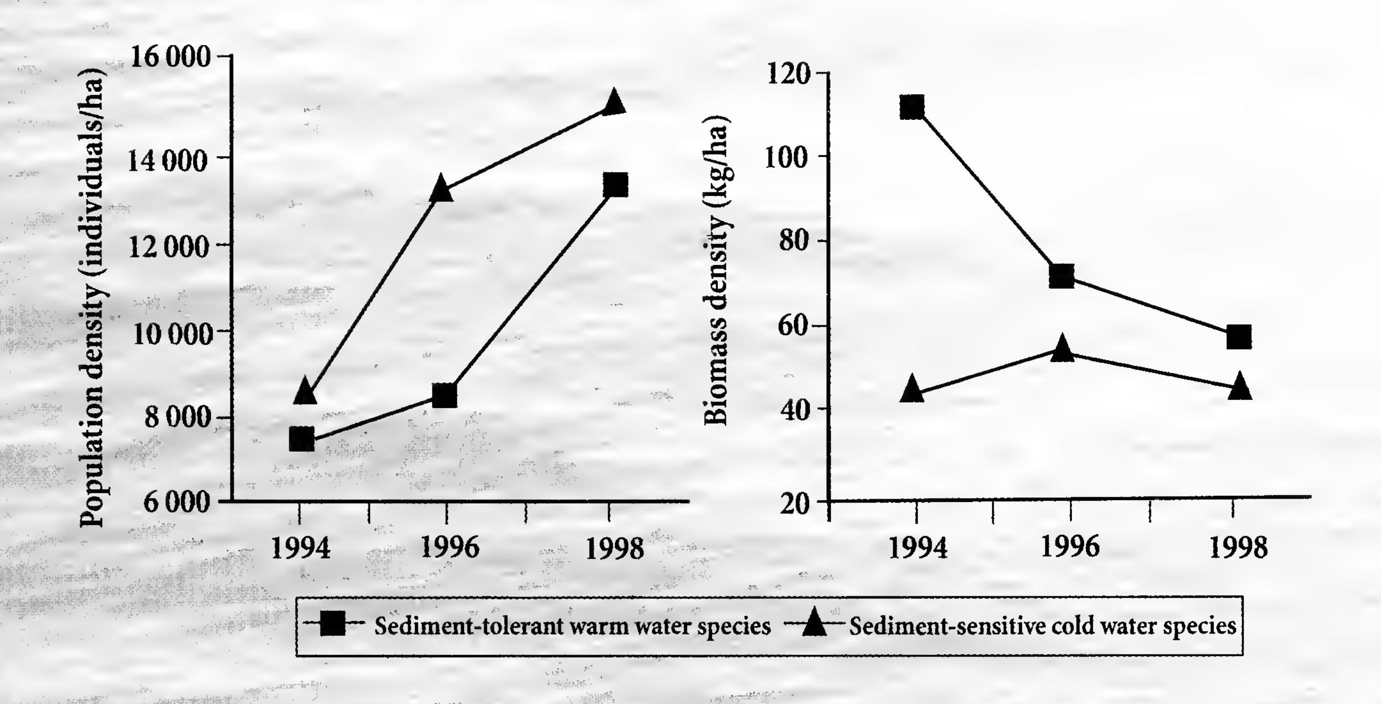
- en sensibilisant la population à ce problème et en favorisant les possibilités d'éducation par l'organisation de journées champêtres pour les bénévoles
- en clôturant les abords du cours d'eau, en créant des habitats par bioingénierie du sol, en plantant des arbres et des arbustes et en installant des structures servant d'habitat dans le cours d'eau.

Les tendances qui se manifestaient au sein des communautés de poissons dans le sous-bassin hydrographique ont été surveillées.

À l'automne 1999, environ 2 000 heures de travail avaient été fournies par les participants du projet et 4,5 kilomètres d'habitats riverains avaient été protégés et remis en état. Les activités ont inclus

- la mise en place de plus d'une quarantaine de structures d'habitats (p. ex. embâcles, matériaux naturels);
- enlèvement des détritus et de tout ce qui obstruait les canaux
- réalisation d'une fosse migratoire
- installation de 1 800 mètres de clôtures à bovins et de trois passages pour bovins et tracteurs
- surveillance de la température et de la biomasse des poissons.

Une évaluation de la communauté de poissons, divisée en *guildes* d'eau froide sensibles à la sédimentation (FSS) et d'eau chaude tolérant la sédimentation (CTS), a montré une nette augmentation de l'abondance et de la biomasse du groupe FSS au cours d'une période de six ans (*voir* les graphiques plus loin). La poursuite des travaux sur le ruisseau comportera l'entretien des installations existantes, la mise en place d'un plus grand nombre de structures d'habitats et de clôtures à bovins ainsi que la promotion continuelle de cette cause dans la population et la mise à profit des possibilités d'éducation.




*M.G. Heaton et V. Samaras, Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario*

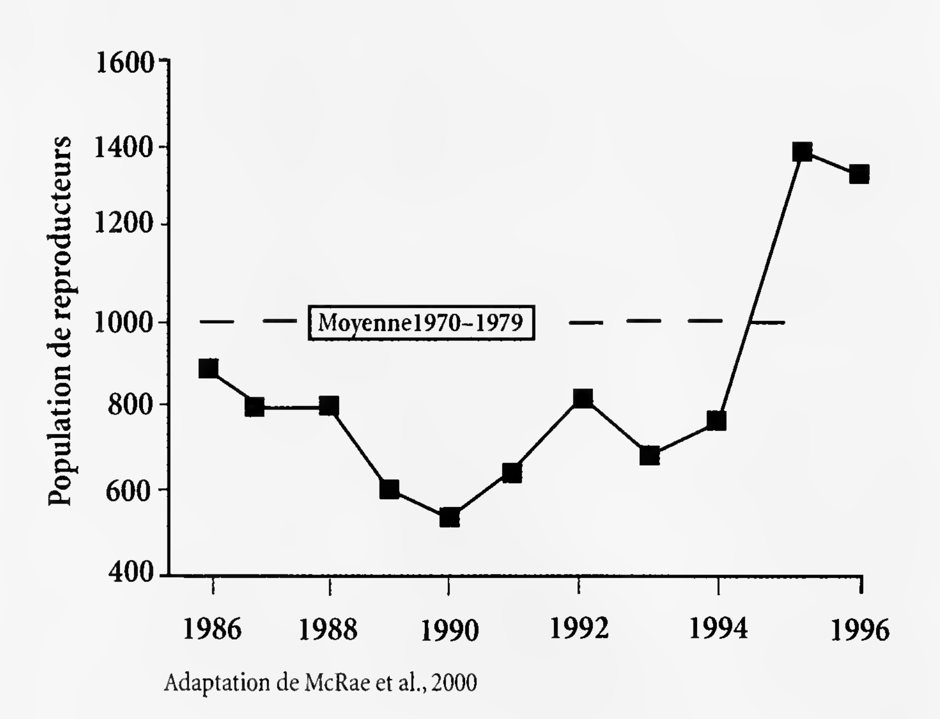
## Plan nord-américain de gestion de la sauvagine

Le Plan nord-américain de gestion de la sauvagine (PNAGS) est le projet continental de conservation de la faune le plus ambitieux jamais entrepris. Il vise à restaurer les populations de sauvagine au Canada, aux États-Unis et au Mexique aux niveaux enregistrés durant les années 1970, décennie repère pour la conservation de la sauvagine, et cela par la protection et la gestion des habitats. En 1998, les partenaires signataires de ce plan en ont élargi le mandat pour inclure d'autres espèces aviaires. La plupart des projets réalisés dans le cadre du PNAGS incluent généralement d'autres espèces, comme les poissons et les amphibiens, trouvées à l'intérieur de la zone du projet.

Cette organisation entièrement bénévole montre comment des milliers de partenaires représentant divers intérêts peuvent préserver l'habitat et permettre la poursuite d'activités économiques traditionnelles. Au cours de ses 13 années de fonctionnement, plus de deux millions d'hectares d'écosystèmes de terres humides ont été préservés d'un bout à l'autre du continent, et la plupart des populations de sauvagine montrent actuellement des signes d'accroissement. De nombreuses structures institutionnelles ont été modifiées au cours des ans par les partenaires du PNAGS, y compris la politique sur les terres humides, la *Loi de l'impôt sur le revenu*, les avis d'imposition municipale, la loi sur les servitudes de conservation ainsi que les projets communs de mise en oeuvre de programmes de cohabitation de l'agriculture et de la faune.

L'élargissement de la vision du plan au cours des cinq prochaines années dépendra de l'intérêt, de l'engagement, du savoir-faire et des ressources des partenaires volontaires. La force et l'avenir du PNAGS est sa vision d'une planification fondée sur la biologie, qui emprunte une approche paysage de la gestion des habitats et cherche à équilibrer les objectifs de conservation avec les buts socioéconomiques par la coopération avec les gouvernements, les organisations non gouvernementales, l'entreprise privée, les collectivités et les particuliers.

*K. W. Cox, Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada)*




*Adaptation de McRae et al., 2000*

- modifiant les habitudes de broutage pour garder certains enclos exempts de bétail jusqu'à ce que la sauvagine ait fini de s'en servir
- appliquant des pratiques de gestion des terres propices à une meilleure qualité de l'eau.

Dans les Prairies, la baisse des populations de sauvagine résultant de la disparition des terres humides est maintenant en voie d'être renversée dans une certaine mesure grâce à des programmes comme le Plan nord-américain de gestion de la sauvagine (*voir* l'encadré ci-contre) et des projets similaires dirigés par des groupes comme Canards Illimités. Avec la collaboration des agriculteurs, ces organismes et d'autres groupes écologistes sont en train de restaurer et de rétablir des terres humides et d'y ajouter des éléments comme des petits barrages, des nichoirs et de la végétation pour en améliorer le potentiel pour la faune. Les terres humides assurent des haltes à la sauvagine migratrice ainsi que des lieux de nidification. Les agriculteurs, quant à eux, peuvent utiliser l'eau pour irriguer leurs cultures ou abreuver leur bétail (en utilisant des auges ou des pompes activées par pression du mufle, à une certaine distance des terres humides). Les terres humides restaurées peuvent devenir une source d'eau présente à longueur d'année là où, auparavant, il n'y avait qu'un cours d'eau saisonnier.

## Marécages artificiels

Des marécages artificiels sont maintenant utilisés dans plusieurs fermes de l'est du Canada pour traiter le fumier et les déchets de traite. Des études ont montré que le nombre de coliformes fécaux dans les ruissellements des étables passant par des marécages artificiels pouvait chuter de 99 % dans certains cas. L'enlèvement de la matière solide, des éléments nutritifs, des détersifs et des bactéries au moyen de marécages artificiels peut augmenter la qualité des eaux usées avant qu'elles soient déversées dans les cours d'eau et sur les côtes, améliorant ainsi l'habitat des poissons et contribuant à réduire la contamination bactérienne dans les lieux où l'on pêche des coquillages.

Là où ils servent au traitement tertiaire d'eaux usées ne contenant pas de matière toxique pour la faune (p. ex. métaux lourds), les marécages artificiels peuvent constituer un excellent habitat pour la faune. Par exemple, le Projet conjoint Habitat de l'Est (initiative concertée des gouvernements fédéral et provinciaux, de Canards Illimités Canada et de Habitat faunique Canada pour l'application du Plan nord-américain de gestion de la faune dans l'est du

## Limitation de l'accès des bovins aux terres humides et aux cours d'eau

Lorsque les bovins ont accès à des étendues d'eau, l'impact direct le plus notable est souvent l'endommagement de la végétation longeant le cours d'eau et la déstabilisation des berges due au broutage et au piétinement. Lorsque ces dégâts surviennent, la végétation riveraine n'est plus capable de capter les sédiments et les éléments nutritifs contenus dans les eaux qui s'écoulent à la surface du sol jusqu'aux étendues d'eau

- les berges elles-mêmes s'érodent, et la sédimentation qui en résulte détériore l'habitat aquatique des invertébrés et des poissons en période de frai, en plus d'accélérer l'eutrophisation
- la disparition de la végétation riveraine se traduit par une diminution de l'ombre et une élévation de la température du cours d'eau, phénomène qui nuit à de nombreuses espèces de poissons et favorise encore davantage la croissance de macrophytes aquatiques et d'algues indésirables.

Des études réalisées récemment en Alberta tendent à prouver également que les bovins peuvent engraisser davantage lorsqu'ils s'abreuvent à des réserves d'eau clôturées. Les chercheurs ont attribué cette différence à une meilleure santé due à la consommation d'une eau propre (plutôt que d'une eau souillée et trouble) et à une plus grande facilité à boire d'une source clôturée (comparativement à la nécessité de patauger dans la boue des fossés ou des rives).

*T.J.V. Sopuck, Manitoba Heritage Habitat Commission*

Une vaste étendue de terres humides et un affluent d'eau froide du ruisseau Cold traversent une exploitation de naissage et de finition d'une centaine de têtes qui s'étend sur environ 80 hectares dans le centre-est de l'Ontario. Les vaches avaient l'habitude de s'abreuver dans une dépression boueuse située dans les terres humides. Or, une clôture électrique à haute tension de trois fils est maintenant en place sur le périmètre des terres humides et d'une zone de marécages boisés afin d'y réduire l'accès des bovins. Un système d'adduction d'eau animé par une batterie, appelé pompe Heissler, a été installé pour abreuver les animaux. Non seulement ceux-ci reçoivent-ils maintenant une eau de meilleure qualité comportant moins de risque de transmission de parasites et de maladies d'origine aquatique, mais les pertes d'animaux dues à un embourbement ont diminué.

Une autre exploitation de naissage de 80 têtes compte environ 32 hectares de pâturages, 2 hectares de boisés et 19 hectares de terres humides riveraines le long de la rivière Snake dans l'est de l'Ontario. Une section de 240 mètres de la rivière et environ 2,4 hectares d'habitats riverains ont été entourés d'une clôture électrique à trois fils pour empêcher les bovins d'y avoir accès. Un étang-réservoir créé dans une dépression naturelle recueille les ruissellements et approvisionne en eau une auge alimentée par gravité située sur une dalle de béton. L'étang nouvellement créé et l'habitat adjacent ont, eux aussi, été clôturés pour en bloquer l'accès aux animaux. Les rives ainsi mises à l'abri ont été améliorées pour y attirer la faune par la plantation d'arbres et d'arbustes. Les bovins de cet élevage bénéficient maintenant d'une installation centrale d'abreuvement où leurs pieds ont meilleure prise. Cette amélioration a aussi entraîné une utilisation plus judicieuse des pâturages et un meilleur broutage.

Les projets du ruisseau Creek et de la rivière Snake s'inscrivaient dans le programme WWW (Wetlands/Woodlands/Wildlife) réalisé conjointement par l'Ontario Federation of Hunters and Anglers, l'Ontario Hunters Association et des groupes locaux. Terminé en 1997, le programme 3W était administré par le Service canadien de la faune d'Environnement Canada en collaboration avec le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario et financé principalement dans le cadre d'une entente sur l'agriculture Canada-Ontario du Plan vert.



*Clôtures limitant l'accès des bovins aux cours d'eaux*

*Ontario Cattlemen's Association, Guelph (Ontario)*

## Habitats fauniques sur les terres agricoles du Canada

La destruction des habitats est la principale cause de la disparition des ressources fauniques de la planète et, par conséquent, de la perte de la biodiversité. L'agriculture a réduit à la fois la quantité et la qualité des habitats fauniques au Canada. Par contre, certaines espèces sauvages ont été capables de se développer là où l'habitat naturel a été remplacé par des fermes, et les terres agricoles offrent plus de possibilités à la faune que des zones plus développées, comme les villes.

Dans le but d'estimer la valeur qu'auraient les terres agricoles comme habitat faunique, on a mis au point, parmi la série d'indices agro-environnementaux nationaux, un indicateur qui portait sur la disponibilité d'habitats fauniques sur les terres agricoles. Cet indicateur a servi à déterminer quels types d'habitats dans le paysage agricole soutenaient le plus la vie de la faune et à vérifier si les superficies de ces habitats avaient augmenté, avaient diminué ou étaient demeurées constantes entre 1981 et 1996. Les types d'habitats correspondent aux cinq principales catégories d'utilisation des terres définies dans le *Recensement agricole* de 1996, soit : terres en culture, jachères, prairies artificielles, prairies naturelles, toutes les autres utilisations.

La catégorie « toutes les autres utilisations » s'est avérée le meilleur habitat faunique des cinq. Cette catégorie comprend les terres humides et les milieux aquatiques, comme les tourbières, les marais et les bourbiers. Par conséquent, les tendances observées concernant la superficie de cette catégorie pour les sept écozones terrestres où l'agriculture est pratiquée (voir le tableau) donnent une idée générale des tendances qui s'annoncent pour la superficie des terres humides et des milieux aquatiques que l'on trouve sur les terres agricoles au Canada.

| **Écozone** | **Superficie de « toutes les autres utilisations » en 1996 (milliers d'ha)** | **Changement de superficie de « toutes les autres utilisations » entre 1981 et 1996 (%)** | **Nombre d'unités d'utilisation de l'habitat* permises par «toutes les autres utilisations »** |
|---|---|---|---|
| Maritime du Pacifique | 19 | –21 | 1765 |
| Cordillère alpestre | 194 | aucun | 2271 |
| Plaines boréales | 1561 | 8 | 1740 |
| Prairies | 1986 | 16 | 1814 |
| Bouclier boréal | 350 | aucun | 2043 |
| Plaines de forêts mixtes | 594 | –19 | 2191 |
| Maritime de l'Atlantique | 603 | 13 | 1683 |

Une unité d'utilisation de l'habitat est une mesure de la variété des usages de l'habitat par la faune (p. ex. la nidification par les colverts et leur recherche de nourriture représentent deux utilisations de l'habitat).

*Source : McRae et al., 2000*

pays) a aménagé plusieurs marécages artificiels dans les provinces de l'Atlantique afin d'aider à l'épuration des eaux usées domestiques et des effluents agricoles provenant des lieux d'entreposage du fumier et des parcs d'engraissement. L'eau est d'abord gardée dans deux étangs de sédimentation consécutifs où la matière solide est éliminée. Elle entre ensuite dans un troisième réseau (tertiaire) de terres humides où des processus naturels entrent en jeu pour décomposer les bactéries et recycler les éléments nutritifs avant son déversement dans les eaux réceptrices. Dans les marécages artificiels, les éléments nutritifs contenus dans les eaux usées supportent une communauté riche et diversifiée de plantes et d'animaux. Bien que ce système ait été utilisé avec succès pour traiter les eaux usées et créer un habitat faunique, les terres humides naturelles ne devraient jamais servir d'installations de traitement des eaux.

## Écosystèmes intégrés

Traiter les milieux forestiers et aquatiques ainsi que les pâturages environnants et autres terres agricoles comme un écosystème intégré offre des possibilités uniques de fournir des habitats aux oiseaux et à d'autres espèces tout en favorisant une agriculture durable. Par exemple, le programme ontarien des 3W (Wetlands - Woodlands - Wildlife) a concentré ses efforts sur un certain nombre de bassins hydrographiques entre 1993 et 1997. Ce programme prévoyait des incitatifs pour stimuler l'adoption de pratiques qui protègent, créent ou améliorent les habitats des poissons et de la faune en général, comme

- retarder le broutage
- restreindre l'accès des bovins aux cours d'eau (*voir* l'encadré, p. 95)
- utiliser d'autres systèmes d'adduction d'eau, comme des pompes solaires et des goulottes pour l'abreuvement à distance
- planter des arbustes à fruits
- signer des ententes sur des couloirs
- planter des cultures de diversion
- réaménager les passages dans les cours d'eau pour protéger les habitats
- planter des bandes gazonnées le long des cours d'eau.

Presque toutes les terres agricoles présentent au moins certaines possibilités comme habitat de la faune. Les terres non exploitées, y compris les terres humides et les boisés, présentent l'habitat de la meilleure qualité. Agriculture et Agroalimentaire Canada a récemment entrepris d'évaluer les

tendances pour ce qui est de la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles (*voir* l'encadré, p. 96). Cette étude a montré que l'habitat était particulièrement menacé dans les régions où se pratique une agriculture intensive, que l'on trouve dans l'écozone maritime du Pacifique, en Colombie-britannique et l'écozone des plaines à forêts mixtes en Ontario et au Québec.

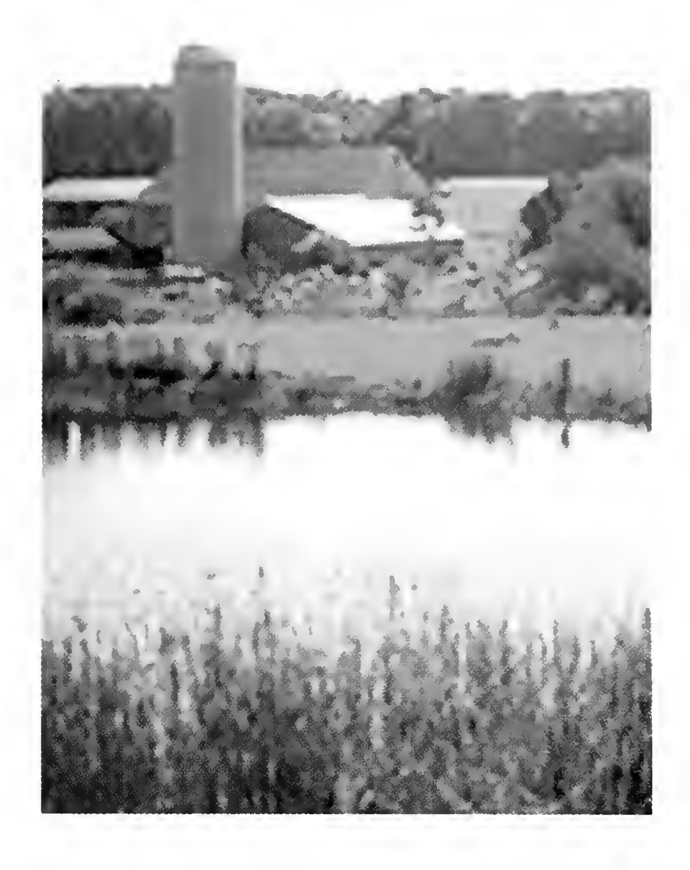
## L'eau dans le paysage

Il ne faudrait pas sous-estimer l'importance de l'eau dans l'esthétique des paysages ruraux. Qui n'est pas attiré par l'image sereine d'une rivière serpentant dans des terres agricoles ou d'un étang à truites niché dans les bois? En modifiant l'apparence des cours d'eau ruraux, que ce soit leur trajet ou l'eau elle-même, on risque de défigurer les campagnes.

Le Canada, avec ses vastes contrées rurales et l'abondance de ses lacs, a eu tendance dans le passé à sous-évaluer l'aspect esthétique de l'environnement. En Europe, à cause de l'industrialisation et de la forte urbanisation, on apprécie énormément les paysages ruraux, que l'on voit comme des oasis de paix et d'harmonie pour les citadins. De plus en plus intéressés par l'écotourisme et les loisirs qu'offre la campagne, les Canadiens commencent aussi à se rendre compte que la beauté des paysages ruraux, y compris de leurs cours d'eau, est un atout qu'ils ne peuvent tenir pour acquis.

## Conclusion

Malgré l'intensification de l'agriculture ainsi que l'urbanisation et l'industrialisation des régions rurales, de nombreuses occasions existent d'améliorer la coexistence du développement avec les écosystèmes naturels et la faune en particulier. Outre les nombreuses pratiques de gestion des fermes visant à protéger et à améliorer la qualité de l'eau qui ont été suggérées au chapitre 8, il faudrait un désir soutenu de préserver les habitats fauniques sur les terres agricoles, en particulier dans les zones d'agriculture intensive. Il existe toute une variété de



*L'attrait de l'eau dans le paysage rural*

moyens pratiques de restaurer ou de créer des terres humides, des zones riveraines et des habitats aquatiques. Si certaines de ces mesures peuvent être entreprises individuellement par un propriétaire foncier, d'autres nécessitent la collaboration d'un groupe de personnes. Quoi qu'il en soit, les changements commencent par le souci d'une bonne intendance qui reconnaît la valeur de la biodiversité, de la santé des écosystèmes et de la disponibilité d'une eau propre.

Les agriculteurs et les ruraux mentionnent souvent leur amour de la nature comme l'une des principales raisons d'avoir choisi l'agriculture comme style de vie et la campagne comme lieu pour demeurer et élever leurs enfants. Vivre en harmonie avec les écosystèmes naturels tout en exploitant des fermes et des entreprises économiquement viables est essentiel à la préservation de l'environnement rural, milieu tant apprécié aussi bien des ruraux que des citadins.

# 8. La préservation de la qualité de l'eau

*C. Bernard, C.F. Drury, G.L. Fairchild, L.J. Gregorich, M.J. Goss, D.B. Harker, P. Lafrance, B. McConkey, J.A. MacLeod, C.S. Tan, T.W. Van der Gulik, L.J.P. van Vliet et A. Weersink*

**Points saillants**

- Préserver la qualité de l'eau incombe aux particuliers, aux collectivités et aux groupes de défense des intérêts publics, mais l'acteur-clé pour une agriculture intégrée à son environnement est l'agriculteur, qui exerce le plus de contrôle sur les pratiques de gestion agricole pouvant nuire à la qualité de l'eau

- Les agriculteurs peuvent aider à améliorer la qualité de l'eau de trois façons en particulier : en freinant les processus qui entraînent le sol et les intrants agricoles vers l'eau (p. ex. érosion, ruissellement et drainage), en améliorant la gestion des déchets et des intrants agricoles (p. ex. engrais, fumier et pesticides) et en installant des zones tampons et des brise-vents.

- La gestion des intrants agricoles comprend l'adoption de plans de lutte antiparasitaire intégrée et de gestion des éléments nutritifs qui tiennent compte de leur concentration dans les fumiers et les résidus des cultures. De bonnes pratiques de gestion des terres comprennent les assolements, les travaux culturaux antiérosifs et la mise en place de cultures de couverture.

- L'industrie agricole appuie les efforts que font les agriculteurs pour devenir plus soucieux de l'environnement, en travaillant avec le gouvernement et d'autres organismes pour fournir des codes et des lignes directrices qui définissent les pratiques agricoles acceptables, encouragent l'adoption de plans environnementaux de l'exploitation agricole et, dans certains cas, offrent des services de consultation entre les pairs sur la façon de régler les plaintes pour nuisance ou pollution.

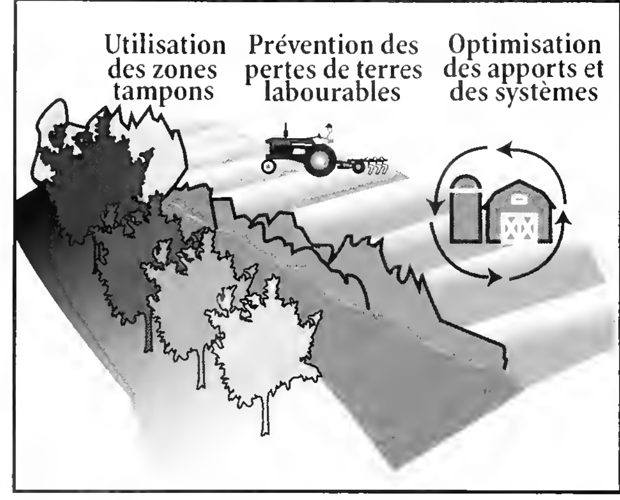
- Les problèmes de qualité de l'eau sont souvent évidents dans certains bassins versants et sont ressentis par les collectivités dans leur ensemble. Il faut s'en occuper à cette échelle géographique en commençant par la création d'une coalition qui représente tous les intérêts et qui, idéalement, est mobilisée et dirigée par les agriculteurs et d'autres propriétaires fonciers. Plusieurs exemples d'entreprises réussies de ce genre existent au Canada.

- La responsabilité de l'État dans la protection de la qualité de l'eau dans un contexte agricole comprend l'éducation et la formation, la mise en place de politiques et de programmes dotés d'objectifs environnementaux qui portent plus particulièrement sur les régions à risque élevé (p. ex. régions de cultures ou d'élevage intensifs) et la réglementation.

## Introduction

Préserver la qualité de l'eau est une préoccupation pour tous les Canadiens. Les agriculteurs sont les premiers touchés par la pollution causée par des substances d'origine agricole. C'est dans leur intérêt de prendre des mesures pour préserver la qualité de l'eau en repensant les façons d'utiliser les ressources et en équilibrant les objectifs de production avec la nécessité d'un environnement de qualité. Les bienfaits qu'ils retirent d'une diminution de la pollution occasionnée par l'agriculture comprendraient une efficacité et une productivité accrues, une baisse des coûts de production et l'amélioration de la santé de leurs familles et de leurs animaux. Des groupes de l'industrie agricole peuvent soutenir les efforts déployés par chaque producteur pour protéger la qualité de l'eau, par des moyens comme l'éducation et le transfert de la technologie ainsi qu'en les aidant à trouver et à appliquer des pratiques de gestion appropriées.

Figure 8-1
Moyens employés à la ferme pour maintenir la qualité de l'eau




Source : A. Michaud

Mesures de lutte contre l'érosion



*Culture en bandes*



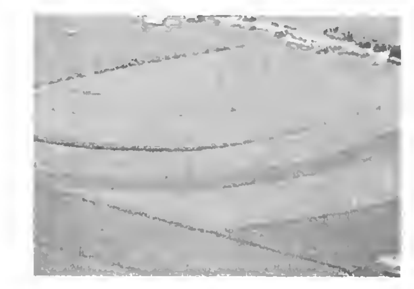
*Culture intercalaire*



*Plantes couvre-sol d'hiver*



*Conservation du sol et débris végétaux*



*Culture selon les courbes de niveau*

Préserver la qualité de l'eau devient souvent une préoccupation collective, qui rapproche les intérêts des agriculteurs de ceux des nombreux autres usagers de l'eau. Les efforts faits par la collectivité à cette fin doivent porter sur tout le bassin hydrographique et faire appel à des personnes venant de divers secteurs de la société et ayant des intérêts différents. L'État joue aussi un rôle crucial dans la préservation de la qualité de l'eau, surtout en formulant et en appliquant des lois et des règlements ainsi qu'en établissant des politiques et des programmes qui favorisent une agriculture écologique et tiennent compte de tous les enjeux, qu'ils soient économiques, environnementaux ou sociaux.

Le présent chapitre examine les pratiques de gestion qui peuvent être utilisées par les agriculteurs pour protéger la qualité de l'eau. On y examine comment l'industrie, les collectivités et les gouvernements ont réussi à travailler avec eux pour atteindre ce but.

## Rôle des agriculteurs

L'intérêt et la participation des agriculteurs sont essentiels à la réalisation de l'objectif de préserver la qualité de l'eau. Leur collaboration est particulièrement nécessaire dans trois domaines (fig. 8-1) :

- freiner les processus qui entraînent le sol et les intrants des terres agricoles vers l'eau (p. ex. par le ruissellement, l'érosion et le drainage)
- améliorer la gestion des intrants agricoles (p. ex. engrais, fumier et pesticides) et l'efficacité avec laquelle ils sont utilisés en agriculture. Cette stratégie consiste à faire correspondre l'apport en intrants avec les besoins des cultures, en les ajoutant en quantité et au moment appropriés de sorte que les éléments nutritifs et les pesticides qui demeurent dans le système à la fin de la saison de croissance ne risquent pas d'entrer dans les cours d'eau à la faveur du ruissellement ou par lessivage.
- mettre en place des *zones tampons* (p. ex. bandes engazonnées ou bordées d'arbres et bassins artificiels). Ces zones captent et recyclent les polluants qui peuvent s'échapper des terres agricoles avant qu'ils n'entrent dans les cours d'eau et les terres humides.

La discussion qui suit comprend les résultats de recherche reliés à ces trois domaines. De plus, nous présenterons aussi les résultats pertinents de l'Enquête sur la gestion des intrants agricoles de 1995 (éléments nutritifs et pesticides) réalisée par Statistique Canada en collaboration avec Agriculture et Agroalimentaire Canada.

### Gestion des terres

Étant donné le lien étroit entre la dégradation du sol et celle de l'eau, de nombreuses pratiques qui s'avèrent actuellement prometteuses pour réduire la contamination agricole venant de sources diffuses ont d'abord été mises au point pour protéger le sol, en particulier contre le ruissellement et l'érosion. Ces façons de faire aident aussi à réduire le transport des polluants (éléments nutritifs et pesticides) contenus dans les ruissellements, qu'ils soient dissous ou liés à des particules de sol. Les pratiques qui contribuent à préserver la qualité aussi bien des sols que de l'eau comprennent :

- les assolements (y compris une réduction de la fréquence des jachères)
- les travaux culturaux antiérosifs
- la mise en place de cultures de couverture et de brise-vents.

**Assolements**

Là ou l'humidité du sol est suffisante, l'alternance de cultures annuelles avec des fourrages (p. ex. graminées, trèfle et luzerne) pendant plusieurs années et l'élimination des jachères (sol nu) donnent un couvert végétal plus dense, qui protège mieux le sol. Des assolements qui comprennent des fourrages réussissent efficacement à réduire le ruissellement, l'érosion et les pertes d'éléments nutritifs. Par exemple, une étude réalisée au Nouveau-Brunswick a montré que le lessivage des nitrates était plus grand avec le maïs qu'avec des graminées et que la jachère après l'enfouissement par le labour de légumineuses fourragères pouvait entraîner un lessivage substantiel des nitrates (tableau 8-1).

**Tableau 8-1**
**Lessivage des nitrates dans des rotations graminées-jachère et graminées-maïs fertilisé au Nouveau-Brunswick**

| | Graminées-jachère | | Graminées-maïs fertilisé | |
|---|---|---|---|---|
| Année | Culture et application d'azote (kg N/ha) | Azote des nitrates dans le lessivat (mg N/L) | Culture et application d'azote (kg N/ha) | Azote des nitrates dans le lessivat (mg N/L) |
| 1988 | Graminées (0) | 1 | Graminées (20) | 1 |
| 1989 | Jachère (0) | 15 | Maïs d'ensilage (100) | 6 |
| 1990 | Jachère (0) | 14 | Maïs d'ensilage(100) | 4 |

Source : Milburn and Richards, 1991.

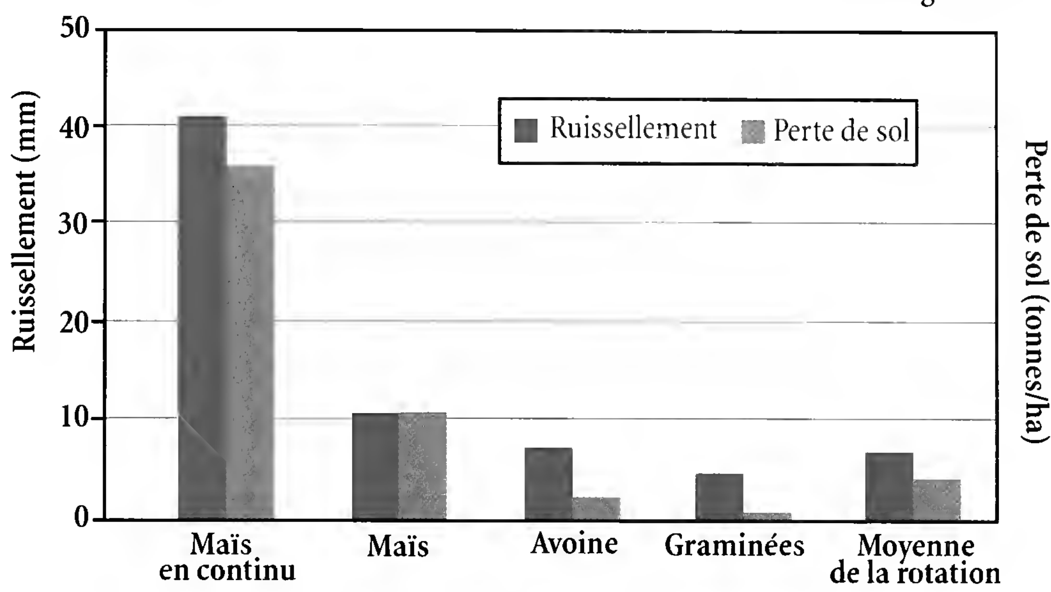
La culture des fourrages aide aussi à améliorer la *structure du sol*. Or, des sols mieux structurés sont moins vulnérables au ruissellement et à l'érosion. Plus longtemps les sols sont couverts de plantes fourragères, plus ils s'améliorent. Cet effet persiste pendant quelques années après la réintroduction des cultures annuelles. Les figures 8-2 et 8-3 montrent l'effet positif des assolements. En moyenne, la rotation du maïs produit moins de ruissellement et de perte de sol que sa culture en continu. De plus, comparativement à la monoculture, la rotation du maïs avec d'autres cultures réduit les pertes d'éléments nutritifs.

Selon une étude effectuée en Colombie-Britannique, l'inclusion de jachères dans les rotations a augmenté les pertes de sol de manière sensible et le ruissellement dans une moindre mesure. Ces pertes s'expliquent par l'exposition du sol au vent et à l'eau là où le couvert végétal est absent (si le sol n'est pas cultivé et que les mauvaises herbes sont éliminées pour en conserver l'humidité) et là où peu de résidus de cultures sont enfouis dans le sol. La jachère peut aussi contribuer à accroître le risque de perte d'un herbicide après son application le printemps suivant, si des conditions humides favorisent le ruissellement et le lessivage.

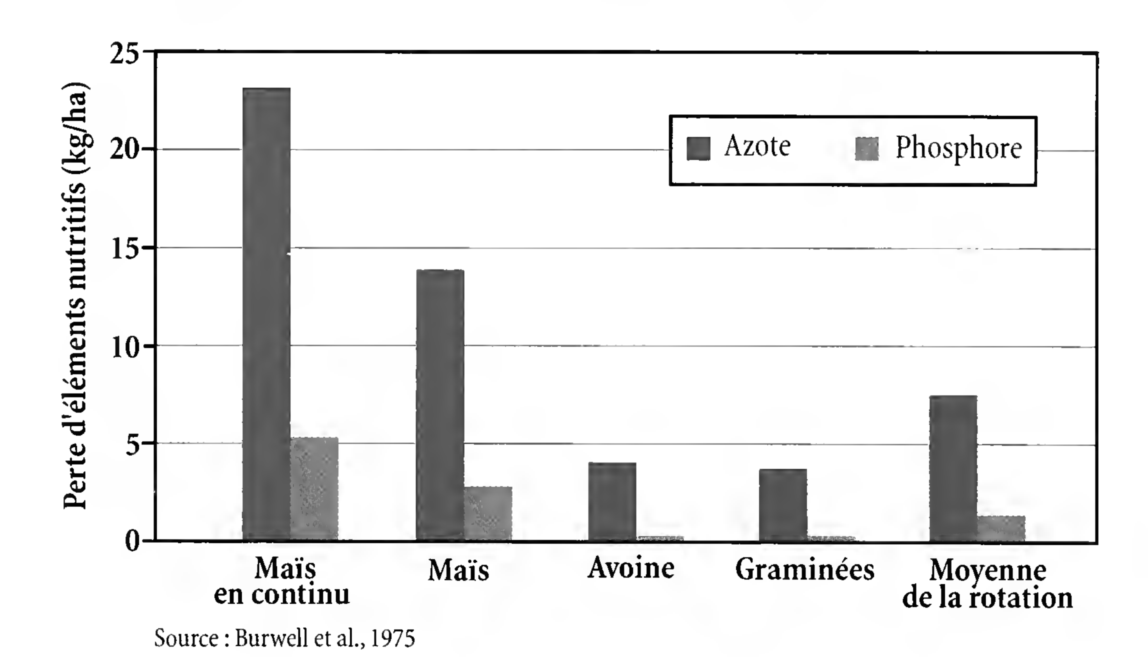
Dans une étude réalisée en Saskatchewan, les concentrations de nitrates dans les eaux de fonte des neiges ruisselant de champs en jachère ont toujours dépassé celles de l'eau ruisselant des champs cultivés. Bien que les charges en sédiments étaient élevées dans le premier cas, il n'y avait pas de différence entre les deux pour ce qui est des concentrations en phosphore non sédimentaire.

Les assolements aident aussi à tenir en échec les mauvaises herbes, les insectes et les maladies. Ainsi, non seulement réduisent-ils la quantité de pesticides

**Figure 8-2**
**Ruissellement et érosion annuels pour du maïs en continu et une rotation maïs-avoine-graminées**




Source : Ripley et al., 1961




Source : Burwell et al., 1975

**Figure 8-3**
**Pertes annuelles d'éléments nutritifs pour du maïs en continu et une rotation maïs-avoine-graminées**

qui s'échappent des terres agricoles dans les ruissellements et les lessivats, mais ils en diminuent le besoin.

**Travaux culturaux antiérosifs**
La fréquence des travaux culturaux, le moment choisi pour les faire et leur intensité jouent sur la quantité d'eau de ruissellement et sur les pertes de sol, d'éléments nutritifs et de pesticides. On entend par travaux culturaux antiérosifs des travaux réduits qui laissent à la surface du sol une couverture d'au moins 30 % des résidus de la culture précédente. Cela comprend diverses techniques allant du sous-solage à l'absence de labour (appelé aussi semis direct). Le principal objectif de ces systèmes est de garder les résidus organiques sur le sol ou près de la surface et de réduire au maximum la perte de matières organiques venant des horizons plus profonds. Le couvert de résidus protège le sol contre l'impact des gouttes d'eau et retarde ou ralentit le ruissellement de surface. Prévenir la perte de matière organique peut améliorer la structure du sol et sa perméabilité, et en diminuer la susceptibilité à l'érosion. En général, plus grande est la quantité de résidus laissés à la surface, plus l'effet protecteur est grand.

**Tableau 8-2**
**Ruissellement, érosion et pertes de phosphore annuels pour des méthodes culturales classiques et anti-érosives au Québec**

| Culture | Pratique culturale | Ruissellement (m) | Perte de sol (tonnes/ha) | Perte de P total (kg/ha) |
|---|---|---|---|---|
| Maïs-grain | Classique | 5,3 | 6,6 | 3,9 |
| | Avec chisel | 2,9 | 1,5 | 1,1 |
| | Travail sur billons | 3,2 | 1,8 | 1,4 |
| Maïs-grain | Classique | 4,9 | 16,9 | 3,0 |
| | Sans labours | 1,8 | 1,3 | 0,2 |
| Orge | Classique | 2,9 | 1,3 | 2,9 |
| | Sans labours | 2,6 | 0,9 | 1,1 |

Source : McRae et al., 2000



*Voie d'eau gazonnée*

Plusieurs études, à des échelles spatiales allant des parcelles expérimentales à des bassins hydrographiques entiers, ont démontré ces bienfaits :

- Dans une étude réalisée au Québec, des chercheurs ont mesuré moins de ruissellement et d'érosion du sol pour le maïs et l'orge semés directement comparativement aux mêmes cultures soumises à des travaux culturaux classiques (tableau 8-2). Toutefois, dans une autre étude effectuée dans le sud-ouest de l'Ontario, les eaux de ruissellement étaient légèrement plus abondantes pour les semis directs que pour le maïs cultivé de façon classique sur une période de 3 ans sur limon argileux avec une pente de 0,5 %.
- Pour des céréales cultivées dans la région de la rivière de la Paix en Colombie-Britannique, les taux annuels d'érosion n'ont été, par rapport à ceux provoqués par les travaux classiques, que de la moitié pour les travaux réduits et de 20 % seulement pour les semis directs. En éliminant à l'automne les façons culturales pour laisser à la surface après la récolte le chaume et les résidus de culture, on protège le sol contre l'érosion causée par la fonte des neiges. Cette méthode antiérosive peut réduire de 80 à 95 % les pertes de sol hivernales en céréaliculture pratiquée sur des terres en pente dans cette région.
- Dans une étude menée à la grandeur d'un bassin hydrographique, des chercheurs de la Saskatchewan ont constaté que l'eau de ruissellement issue de la fonte des neiges sur des superficies non labourées depuis longtemps était inférieure à la moitié de la quantité observée dans les champs travaillés de façon traditionnelle. L'amélioration de l'infiltration due à la pratique continue des semis directs a aussi diminué le risque de ruissellement durant les orages d'été.

Il est également possible de freiner les pertes de pesticides causées par le ruissellement de surface en appliquant des pratiques antiérosives. Dans le sud du Québec, des chercheurs ont récemment indiqué

**Tableau 8-3**
**Ruissellement et perte de sol saisonniers pour des rotations de pommes de terre dans différents modes de conduite des cultures au Nouveau-Brunswick**

| Culture et année | Pluie accumulée [1] (mm) | Voies d'eau de déviation et engazonnées | | Culture dans le sens de la pente | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Ruissellement (mm) | Perte de sol (kg/ha) | Ruissellement (mm) | Perte de sol (kg/ha) |
| Céréales/ray- grass[2], 1990 | 707 | 32 | 106 | 25 | 285 |
| Pommes de terre, 1991 | 582 | 42 | 1678 | 203 | 15 604 |
| Pommes de terre, 1992 | 652 | 20 | 1156 | 159 | 21 825 |
| Orge, 1993 | 687 | 8 | 63 | 34 | 489 |
| Pommes de terre, 1994 | 583 | 14 | 200 | 182 | 24 852 |

[1] Entre le 1er mai et le 30 novembre.

[2] Les abords des voies d'eau de déviation et les voies d'eau engazonnées étaient ensemencés avec des céréales; les champs cultivés dans le sens de la pente étaient ensemencés avec du ray-grass.

Source : McRae et al., 2000.

**Tableau 8-4**
**Nombre moyen de jours de sol nu par hectare et par an**

| Province | Superficie cultivée (1000 ha) | Nombre de jours de sol nu 1981 | 1991 | 1996 | Réduction de 1981 à 1996 (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Colombie-Britannique | 566 | 45 | 37 | 34 | 25 |
| Alberta | 9547 | 86 | 73 | 67 | 22 |
| Saskatchewan | 14 399 | 111 | 93 | 88 | 21 |
| Manitoba | 4699 | 81 | 65 | 65 | 20 |
| Ontario | 3545 | 113 | 110 | 96 | 16 |
| Québec | 1739 | 63 | 61 | 62 | 0 |
| Nouveau-Brunswick | 135 | 66 | 59 | 57 | 14 |
| Nouvelle-Écosse | 112 | 50 | 35 | 34 | 31 |
| Île-du-Prince-Édouard | 170 | 103 | 96 | 94 | 9 |
| Terre-Neuve | 7 | 43 | 25 | 24 | 44 |
| Canada | 34 919 | 98 | 83 | 78 | 20 |

Source : McRae et al., 2000

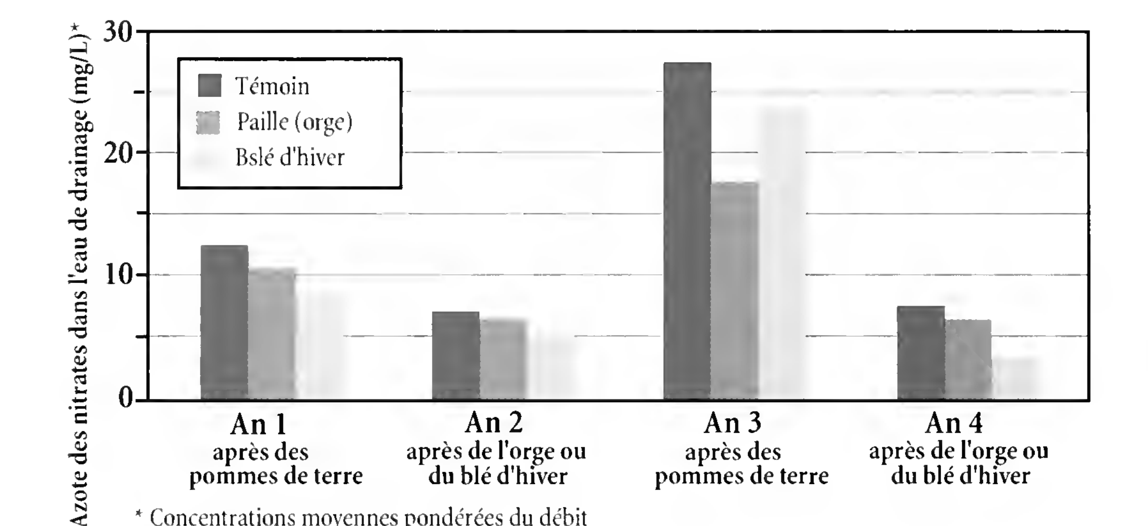
que les semis directs, par rapport aux travaux culturaux classiques, réduisaient en moyenne d'environ 90 % les pertes d'un mélange des herbicides atrazine et métolachlore dues au ruissellement de surface.

La méthode de culture en *pente transversale*, qui forme des mini-billons dans le champ, aide à ralentir et atténuer le ruissellement sur les terres en pente, réduisant ainsi l'érosion du sol. Des recherches sur l'efficacité des travaux culturaux et plantations en travers de la pente pour une culture en lignes et pour des céréales ont montré qu'il était possible de juguler en grande partie la perte de sol et le ruissellement, pourvu que la pente pour les cultures en lignes soit très faible (c.-à-d. ne dépassant pas 5 %). Dans une étude comparative portant sur deux champs de pommes de terre au Nouveau-Brunswick, les chercheurs ont constaté une diminution substantielle des pertes de sol subies par

Tableau 8-5
**Effet du moment et de la méthode choisis pour tuer le trèfle rouge sur la teneur en nitrates de l'eau de drainage souterrain à l'Île-du-Prince Édouard**

| Traitement pour tuer le trèfle rouge | Azote des nitrates dans l'eau de drainage (mg/L) | | |
|---|---|---|---|
| | Même année Automne | Année suivante Printemps | Fois suivante où le trèfle rouge entre dans la rotation* Automne |
| Labour de début d'automne | 13,4 | 8,6 | 19,3 |
| Herbicide en début d'automne | 11,5 | 7,7 | 9,2 |
| Herbicide en fin d'automne | 10,5 | 7,4 | 6,2 |

* Rotation triennale de pomme de terre–orge–trèfle rouge.
Source : J.A. MacLeod, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Charlottetown (Î.-P.-É.)




* Concentrations moyennes pondérées du débit
Source : Milburn et al., 1997

**Figure 8-4**
**Effet des cultures de couverture d'hiver sur les concentrations de nitrates dans l'eau de drainage au moyen de tuyaux**

le champ planté transversalement à la pente avec *terrasses* et *voies d'eau engazonnées* comparativement au champ où l'on pratiquait une *culture en pente* sans aucune mesure antiérosive (tableau 8-3).

Dans le cadre du projet national d'établissement d'indicateurs agro-environnementaux, on en a mis un au point pour évaluer la quantité de couverture du sol, et cela par culture et résidus, sur les terres agricoles canadiennes. Cet indicateur reposait sur le nombre de *jours de sol nu*, mesure du nombre de jours par année où le sol est laissé sans rien dessus lorsqu'il est soumis à divers types de cultures, travaux culturaux et régimes d'assolement avec jachères. Entre 1981 et 1996, le nombre moyen de jours de sol nu sur les terres agricoles canadiennes a baissé de 20 %, soit de 98 à 78 (tableau 8-4). Toutes les provinces et écorégions, sauf les basses terres du Saint-Laurent au Québec, ont aussi montré une diminution de ce nombre, indiquant une amélioration de la couverture du sol dans le temps. Cette amélioration laisse présager également une diminution potentielle du risque d'érosion du sol et du déplacement des contaminants agricoles vers l'eau.

**Compromis exigés par les méthodes antiérosives**

Les compromis exigés par les méthodes antiérosives sont un exemple des choix auxquels les agriculteurs sont confrontés lorsqu'ils essaient de tenir compte des problèmes de qualité de l'eau. Si le travail réduit du sol peut remédier à un ruissellement excessif, il peut aussi aggraver l'infiltration et le risque de lessivage. Dans les pratiques antiérosives, plus l'eau s'infiltre dans le sol et plus ce phénomène est rapide, plus le risque est grand que des nitrates et des pesticides pénètrent dans l'eau de drainage souterrain ou atteignent la nappe phréatique. Les résultats de certaines études confirment cette possibilité. Dans des régions humides, des techniques comme un système de gestion de l'eau (*voir* l'encadré, p. 105) peut aider à éviter, ou du moins à réduire au maximum, cet effet secondaire sur les terres assainies par drainage souterrain.

Les travaux du sol réduits ou les semis directs ont généralement pour effet d'augmenter la quantité de matière organique dans le sol. Lorsque cette matière se décompose, une plus grande quantité de phosphore soluble (la forme la plus facilement utilisée par les plantes) devient entraînable par ruissellement. De plus, les fractions plus grossières du sol sont retenues plus efficacement que les petites. Le carbone, les éléments nutritifs et les pesticides (*voir* tableau 5-1, p. 48) s'attachent facilement aux fines particules du sol. Lorsque celles-ci s'érodent, elle sont enrichies de tous ces éléments. Certaines études ont montré que les pratiques culturales antiérosives pouvaient augmenter les concentrations d'éléments nutritifs dissous dans les ruissellements de surface.

Dans certaines circonstances, cette augmentation peut même suffire à annuler les avantages d'une diminution du ruissellement lorsque la charge de contaminants des voies d'eau s'accroît. Par exemple,

- dans une étude réalisée au Québec, des semis directs de maïs ont eu pour effet d'abaisser respectivement de 94 % et de 73 % les pertes de phosphore et de potassium (les deux principalement sous forme particulaire) comparativement à du maïs cultivé de manière classique. Cependant, les pertes de nitrates hautement solubles ont augmenté de 23 %.

- dans une étude effectuée en Ontario, on a signalé de plus grandes pertes annuelles d'azote dans les ruissellements de surface sur les terres ensemencées directement (2,9 kg d'azote par hectare par année) que pour les travaux culturaux classiques (1,6 kilogramme d'azote par hectare par année).

Une concentration accrue de matière organique se traduit aussi par des conditions plus fraîches et plus humides qui peuvent retarder les semis sur des sols riches en argile. De plus, là où l'on pratique des cultures sans labour ou un travail réduit du sol, les populations de mauvaises herbes peuvent augmenter, surtout sur les jachères dans les Prairies. Dans ce cas, pour les éliminer, on peut avoir besoin d'utiliser plus d'herbicide ou des herbicides différents, voire différentes méthodes de lutte. Il faudrait pousser les recherches pour obtenir un tableau complet des avantages et des inconvénients en ce qui concerne les méthodes antiérosives.

**Cultures de couverture**

Les *cultures de couverture* servent à atténuer les effets de la culture principale. Elles assurent un couvert protecteur qui réduit les risques de ruissellement et d'érosion entre deux saisons de croissance. Il en existe deux types principaux : les cultures intercalaires et l'engrais vert. Les *cultures intercalaires* sont pratiquées en même temps que la culture principale. Par exemple, une plante fourragère peut être semée entre les lignes de maïs, ou du blé de printemps peut être ensemencé de trèfle rouge. Les *engrais verts* sont des cultures que l'on sème généralement après la récolte de la culture principale. Bien que leur emploi soit plus difficile après des cultures de saison longue comme le maïs, elles complètent bien la production de légumes ou de petites céréales (p. ex. ray-grass après des tomates).

Les cultures de couverture servent aussi de *puits* pour les éléments nutritifs qui demeurent dans le sol, empêchant ainsi leur perte par ruissellement ou lessivage. Cet fonction est particulièrement importante en ce qui concerne l'azote. L'enfouissement de ces cultures par labour ou leur traitement par pulvérisation d'herbicides à la fin de l'automne ou au début du printemps augmentent la disponibilité d'éléments nutritifs pour les cultures suivantes. Toutefois, le moment choisi pour ces travaux se répercute sur la concentration en nitrates que l'on trouve dans l'eau de drainage (tableau 8-5). Parmi d'autres avantages des cultures de couverture, mentionnons

- l'élimination des mauvaises herbes
- la conservation de la matière organique
- la fixation d'azote lorsqu'on utilise des légumineuses
- la diminution de l'érosion éolienne et des dégâts causés aux jeunes plantes.

Les cultures de couverture présentent certains inconvénients. Entre autres, elles livrent une concurrence à la culture principale pour l'eau et les éléments nutritifs et elles ajoutent aux coûts de production. Ces aspects négatifs sont plus ou moins importants. Cela dépend des conditions agro-environnementales locales.

**Planification de la gestion des éléments nutritifs**

L'utilisation d'un plan de gestion des éléments nutritifs peut aider les agriculteurs à réaliser une qualité de produit et des rendements optimaux, à maîtriser les coûts des intrants agricoles et à protéger le sol et l'eau. Mais pour créer et exécuter un tel plan, il faut

- comprendre les principes de la gestion des éléments nutritifs
- connaître les caractéristiques du sol et du paysage, et en tenir compte
- connaître la fertilité résiduelle du sol en effectuant régulièrement des analyses
- savoir ce qu'il faudrait épandre et tenir compte de toutes les sources d'éléments nutritifs (p. ex. fumier, éléments nutritifs enfouis provenant des cultures de légumineuses, azote résiduel résultant d'épandages précédents de fumier et de matières biologiques solides, engrais minéraux, biosolides comme les boues d'égout)
- régler les machines afin d'obtenir des doses d'application connues et employer des méthodes d'épandage qui réduisent au maximum les pertes dans l'environnement
- gérer tous les liquides contaminés, y compris l'eau de lavage des installations d'élevage, les ruissellements des cours d'exercice, les fuites des silos-élévateurs, les ruissellements venant des fumiers solides, l'eau de lavage des salles de traite et les déchets d'abreuvement du bétail
- pratiquer la conservation des sols (p. ex. assolements, cultures de couverture, engrais verts; ajouter du fumier et autres matières organiques; réduire les travaux culturaux et les réaliser en temps opportun en tenant compte des conditions atmosphériques et de l'état du sol)
- surveiller l'évolution des concentrations d'éléments nutritifs dans le temps
- prévoir les situations de crise, comme les déversements accidentels, et avoir un plan pour y remédier.

*Source : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de* l'Ontario, 1999

### Méthode d'épandages des engrais et choix du temps pour le faire

Selon l'Enquête sur la gestion des intrants agricoles réalisée en 1995 par Statistique Canada, environ 72 % des agriculteurs canadiens qui ont produit des cultures en 1995 ont déclaré avoir utilisé des engrais commerciaux cette année-là. Bien qu'il soit plus facile d'appliquer des engrais à la volée avant la plantation ou les semis et de les intégrer au sol, cette méthode augmente le risque de lessivage et de ruissellement, surtout si l'opération est suivie de temps pluvieux. Il est préférable d'appliquer les engrais au moment des semis ou, mieux encore, lorsque les plantes poussent et sont à leur maximum d'absorption des éléments nutritifs. Les méthodes d'application les plus écologiques sont l'injection de l'engrais ou son enfouissement au moyen de couteaux entre les lignes de culture (épandage en bandes). L'enquête a révélé que les engrais étaient plus communément appliqués avec la semence pour l'ensemble du Canada, car cette pratique est répandue dans les Prairies, région qui renferme une large part des terres agricoles du pays. Dans toutes les autres régions, l'épandage à la volée demeure la méthode la plus largement employée.

*Source : D.W.H. Culver, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

En Ontario, le maïs d'ensilage accompagné de trèfle rouge en culture intercalaire a eu pour résultat de réduire de 40 à 87 % le ruissellement et de 46 à 78 % l'érosion (selon l'époque de l'année), comparativement à cette même culture en mode classique. Au Québec, la culture combinée de maïs-grain avec un mélange de fléole-luzerne a diminué les pertes de sol de 35 % et les pertes de phosphore de 25 % comparativement à une culture classique de maïs.

Pratiquer une culture de couverture hivernale est recommandé sur les terres en pente de la vallée du bas Fraser et dans l'est de l'Île de Vancouver en Colombie-Britannique, où 75 % des pluies annuelles (environ 1 500 millimètres à Abbotsford) tombent d'octobre à avril. Dans les cultures en lignes (p. ex. maïs et fraises), on estime que 20 % de la pluie quitte les champs sous forme de ruissellement. Et ce chiffre peut atteindre 50 % dans le cas d'un orage. Dans une étude réalisée en Colombie-Britannique sur les avantages de cette méthode, les pertes de sol ont été réduites de 78 % pour les fraises et de 76 % pour le maïs d'ensilage lorsqu'on pratiquait une culture intercalaire. À l'Île-du-Prince-Édouard, la culture du blé d'hiver et la protection du sol avec de la paille après la récolte des pommes de terre ont fait baisser les concentrations de nitrate dans l'eau de drainage souterrain (fig. 8-4). Des études effectuées dans d'autres pays ont montré qu'il était possible d'abaisser de 31 à 77 % le lessivage de l'azote lorsqu'on ajoutait des cultures de couverture non légumineuses à différents assolements.

## Gestion des intrants agricoles et des déchets

Freiner l'entrée d'intrants agricoles (p. ex. éléments nutritifs et pesticides) dans l'eau est une façon d'en réduire la pollution. Une autre est de diminuer la quantité d'intrants qui peuvent passer des terres agricoles à l'eau, en rendant leur emploi plus efficace. Il est possible d'augmenter cette efficacité

- en faisant correspondre la quantité d'intrants appliqués à la quantité nécessaire à la production
- en maximisant leur utilisation par les cultures et les animaux et en réduisant les quantités résiduelles laissées à la fin du cycle de production.

On préserve aussi la qualité de l'eau en pratiquant une bonne gestion des déchets. Ces pratiques consistent, à la fois, à réduire la quantité de déchets (et les risques associés) et à rendre sécuritaires la manipulation, le stockage et l'élimination.

### Éléments nutritifs

Toutes les régions et tous les sols ont un potentiel de rendement limité par des facteurs environnementaux comme le climat, la pente, la texture du sol, la fertilité naturelle et le drainage. Reconnaître ces contraintes et fixer des objectifs de rendement réalistes aideront à accorder l'apport d'éléments nutritifs avec les besoins réels des cultures. Une correspondance étroite entre les deux diminue grandement les risques de ruissellement et de lessivage des éléments nutritifs.

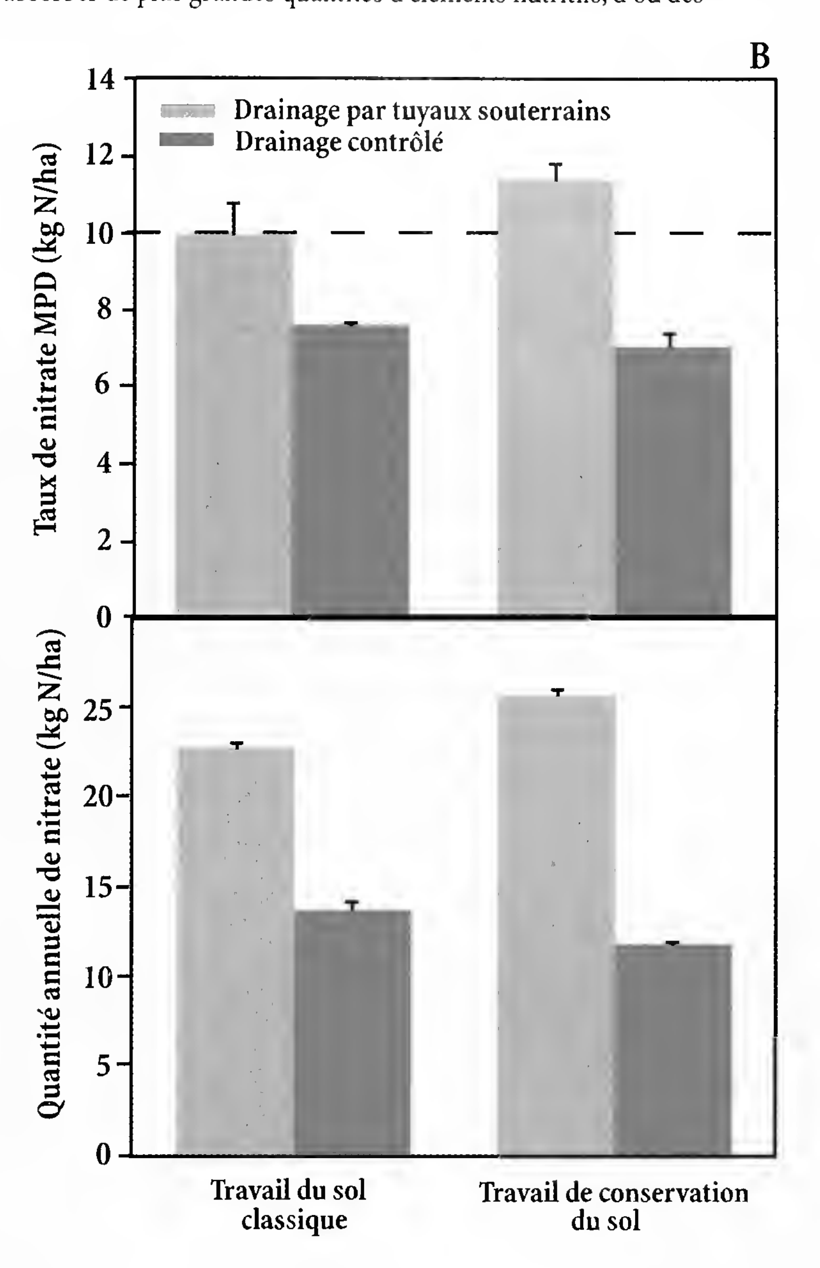
Pour faire une bonne gestion des éléments nutritifs, il faut d'abord savoir combien d'azote, de phosphore et de potassium le sol contient déjà. Une analyse régulière des sols fournit cette information et aide à prévenir l'application d'engrais minéraux lorsque le sol contient déjà de fortes concentrations d'éléments nutritifs. Selon le Recensement de 1995 sur la gestion des intrants agricoles, 60 % des fermes canadiennes se servent de l'analyse des sols tandis que 75 % d'entre elles ont recours à ces analyses tous les 1 à 3 ans. Il reste encore du travail à faire pour améliorer la qualité de l'analyse des sols et inciter toute la collectivité agricole à adopter cette pratique. Certains agriculteurs ne croient pas qu'il y ait un avantage économique à en retirer. Autrefois, des gouvernements provinciaux fournissaient gratuitement ces services aux agriculteurs mais, aujourd'hui, ces derniers doivent payer pour chaque échantillon de sol (p. ex. en Ontario, les laboratoires facturent environ 12 $ pour une analyse de base ayant pour but de déterminer le pH ainsi que les concentrations de phosphore, de potassium et de magnésium).

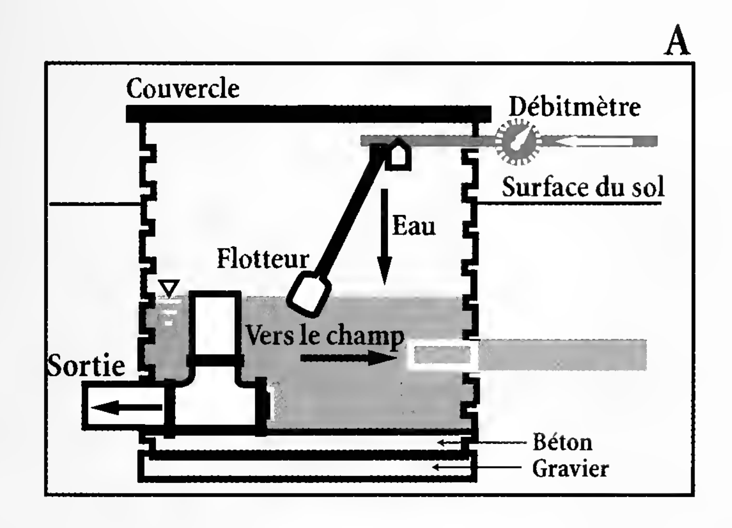
## Système de gestion de la nappe phréatique en Ontario

Les pratiques culturales antiérosives se répercutent aussi bien sur le mécanisme de la perte d'eau (ruissellement de surface ou drainage souterrain) que sur les propriétés physiques et chimiques du sol qui ont un effet sur la croissance des cultures et l'absorption d'éléments nutritifs. Elles ont pour résultat de retenir de plus grandes quantités de résidus des cultures à la surface du sol, ce qui ralentit le déplacement de l'eau et augmente ainsi son infiltration dans le sol. De plus, dans les modes de culture sans labour, l'écoulement préférentiel par les anciennes galeries de vers, à travers les racines pourries et entre les macroagrégats accroît aussi le déplacement de l'eau à travers le sol. Cette perte d'eau additionnelle peut augmenter le transport des nitrates dans le sol.

L'une des techniques mises au point pour optimiser les rendements et réduire les concentrations de nitrates résiduels dans les régions humides dont les terres sont équipées d'un réseau de drainage souterrain est le système de gestion de la nappe phréatique. Elle utilise une chambre de contrôle munie d'un tuyau ascendant fixé à l'extrémité de la canalisation. La hauteur de ce tuyau est ajustée durant l'année pour assurer un drainage souterrain illimité (durant les périodes de semis et de récolte) ou un drainage contrôlé (voir la figure A). De plus, si une source d'eau existe, le champ peut être irrigué par voie souterraine au moyen des canalisations. Ce système capte, au début de la saison de croissance, une partie de l'eau du sol venant des précipitations pour que les cultures puissent l'utiliser en période de sécheresse ainsi que de l'eau d'irrigation si elle est disponible. En atténuant ainsi le stress hydrique subi par les cultures, on leur permet d'absorber de plus grandes quantités d'éléments nutritifs, d'où des rendements supérieurs et la diminution de la quantité de nitrates résiduels laissés à la fin de la saison de croissance qui, autrement, pourraient être perdus par lessivage en dehors de la période de croissance.

Sur une période de 3 ans (1991-1994), 5 800 échantillons d'eau de drainage souterrain ont été prélevés et analysés pour en déterminer la teneur en nitrates et la perte de ce composé. Les concentrations en nitrates de la moyenne pondérée du débit (MPD) des réseaux de drainage souterrains ont été de 9,9 milligrammes d'azote par litre pour les pratiques culturales traditionnelles et de 11,4 mg N/L pour les méthodes antiérosives (figure B). Lorsque des réseaux de drainage contrôlé ont été utilisés, les concentrations de nitrates de la MPD ont été réduites de 23 à 39 %, soit à 7,6 mg N/L pour les pratiques culturales classiques et à 7,0 mg N/L pour les méthodes antiérosives, valeurs respectant la norme de qualité de l'eau, qui est de 10 mg N/L. La perte annuelle de nitrates pour les réseaux de drainage souterrains variait entre 23 et 26 kilogrammes d'azote par hectare, et ces pertes ont été réduites de 40 à 55 % pour l'irrigation souterraine combinée à un drainage contrôlé. On en a conclu que le système de gestion de la nappe phréatique était une nouvelle technique qui réduisait les pertes de nitrates par le drainage souterrain et qui augmentait l'absorption d'eau et d'azote, améliorant ainsi la productivité des cultures.




*C.F. Drury et C.S. Tan, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

**Tableau 8-6**
**Charge d'azote dans les ruissellements de surface pour deux modes de fumure dans des champs de maïs sur la côte méridionale de la Colombie-Britannique**

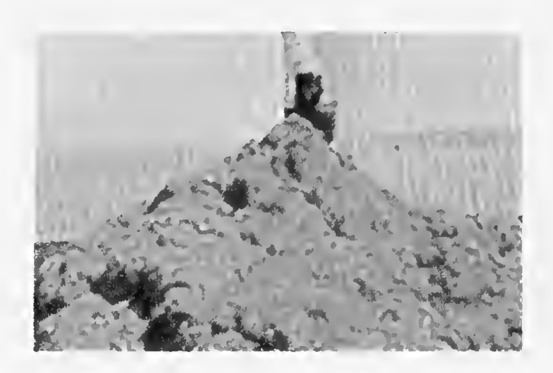
| | Témoin (pas de fumier) | | Fumier épandu à l'automne et laissé exposé à la surface du sol | | Fumier épandu à l'automne sur une culture de couverture d'hiver | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1996** | **1997** | **1996** | **1997** | **1996** | **1997** |
| Ruissellement (mm) | 277 | 536 | 283 | 531 | 247 | 127 |
| Sédiments (kg/ha) | 12 692 | 7679 | 7740 | 7717 | 1767 | 1923 |
| Azote des nitrates (kg N/ha) | 0,2 | 1,5 | 0,3 | 2 | 0,2 | 0,7 |
| Azote ammonium (kg N/ha) | 0,7 | 4,2 | 2 | 8,5 | 1,9 | 6 |
| Azote organique (kg N/ha) | 29,1 | 36,9 | 26,4 | 72,5 | 12,7 | 35,5 |

Source : van Vliet et al., 1999.

## Entreposage du fumier dans les fermes canadiennes

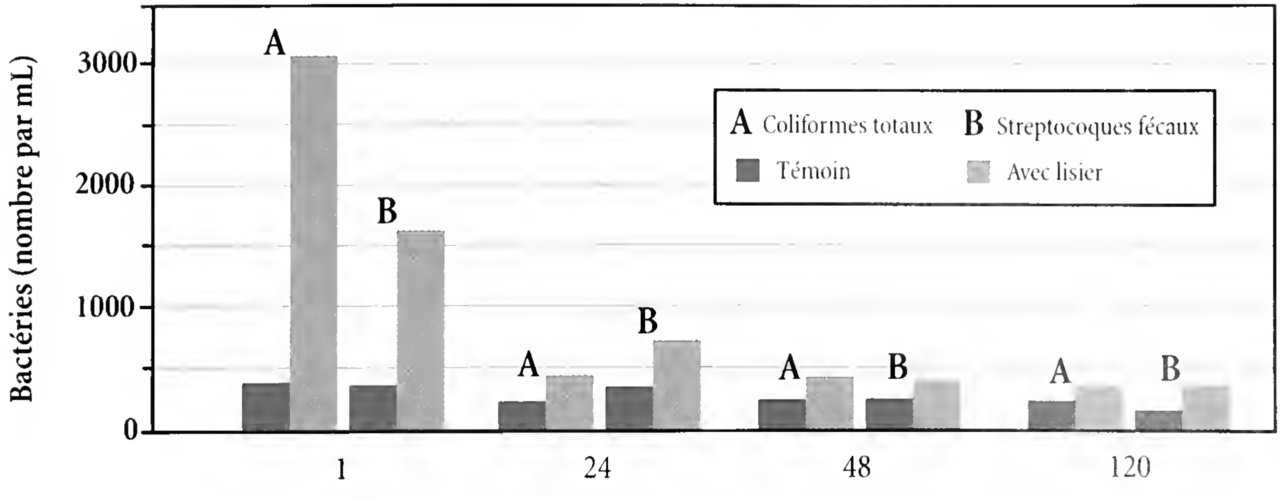
En 1995, du fumier était entreposé dans 60 % des fermes canadiennes. De ce nombre, 11 % l'entreposaient sous forme liquide (91 % des élevages porcins, 38 % des élevages de poulets et 9 % des élevages bovins) et 89 % sous forme solide. Les systèmes de stockage à l'air libre (p. ex. cuves à déjections munies ou non de bandes d'étanchéité et réservoirs ouverts) sont peut-être les méthodes les moins écologiques, car le fumier est exposé aux précipitations et repose directement sur le sol, ce qui augmente le risque de ruissellement et de lessivage. Toutefois, dans les régions où les précipitations sont peu abondantes, où l'état du sol s'y prête et où les capacités d'entreposage sont suffisantes, le risque que comportent les installations à ciel ouvert qui sont munies de bandes d'étanchéité est probablement minime. Les installations à ciel ouvert étaient les plus largement utilisées en 1995. Par exemple, 91% des producteurs de bovins au Canada entreposaient le fumier sous forme solide, principalement en un tas à ciel ouvert (54 % des élevages bovins) ou comme litière 42 %). La méthode la plus sûre, l'installation couverte, était rarement employée, sauf dans les élevages de poulets, où 45 % d'entre eux étaient dotés de réservoirs couverts étanchéifiés.

*D.W.H. Culver, Agriculture et Agroalimentaire Canada*



Une fois que l'on connaît la teneur du sol en éléments nutritifs, une gestion efficace consiste à

- tenir compte de toutes les sources d'éléments nutritifs, y compris les engrais, le fumier, les résidus des cultures précédentes, la fixation biologique de l'azote et la minéralisation des matières organiques du sol
- fertiliser selon un *plan de gestion d'éléments nutritifs* faisant correspondre l'apport en éléments nutritifs aux besoins des cultures; ce plan tient compte de facteurs comme la culture précédente, les pratiques culturales, les sources d'éléments nutritifs (chimiques ou organiques) et leur disponibilité (voir l'encadré, p. 105)
- utiliser les éléments nutritifs de façon à en optimiser l'absorption (*voir* l'encadré, p. 106) (par exemple, pour les cultures qui demandent beaucoup d'azote comme le maïs et la pomme de terre, l'apport pourrait être réparti en applications répétées de quantités moindres durant la saison de croissance ou, pour les cultures à valeur élevée, comme les tomates de transformation, les éléments nutritifs pourraient être ajoutés continuellement au moyen de systèmes de fertilisation — engrais liquide — utilisant le réseau d'irrigation)
- empêcher l'accumulation d'éléments nutritifs, en particulier de phosphore, dans les horizons supérieurs du sol.



Source : Grando, 1996

Figure 8-5
**Numérations bactériennes dans le ruissellement provenant de parcelles ayant reçu un épandage en surface de lisier et de la pluie simulée au Quebec**

Le fumier, sous-produit naturel de l'élevage, qui peut constituer soit un atout, soit un handicap. D'une part, il contient de la matière organique et des éléments nutritifs d'origine végétale qui, ajoutés au sol, contribuent à son *état d'ameublissement* et à sa *fertilité*. Par contre, les nitrates, le phosphore, les bactéries et les sels qu'il contient peuvent contaminer les eaux souterraines et superficielles. Cependant, ce risque peut être grandement réduit par une manutention et un stockage appropriés ainsi que par le choix du moment pour l'épandre dans les champs.

Un stockage sûr permet au producteur d'entreposer le fumier jusqu'à ce que les conditions se prêtent à l'épandage. Par exemple, l'épandre en automne ou en hiver, lorsqu'il n'y a pas de plantes pour absorber les éléments nutritifs, peut avoir pour résultat l'entraînement de ces derniers par lessivage et ruissellement. Il faut particulièrement éviter l'épandage en hiver (au Québec, cette pratique est interdite). Avoir la capacité de stocker le fumier durant ces périodes (idéalement pour plus de 250 jours) en permet l'épandage lorsque l'état des champs et les conditions atmosphériques s'y prêtent davantage. De plus, un stockage approprié réduit ou élimine le risque de contamination des eaux de ruissellement à partir du lieu d'entreposage *(voir* l'encadré, p.108).

Les principes écologiques de l'épandage du fumier sont les suivants :

- Connaître la teneur du fumier en éléments nutritifs. En effet, celle-ci varie considérablement selon le type de fumier, les méthodes d'entreposage (durée et installations) ainsi que les modes de conduite des élevages (type de nourriture, valorisation des aliments par les animaux). Se fier à des moyennes lorsqu'on planifie l'utilisation des fumiers risque de conduire à

## Lutte antiparasitaire intégrée

La lutte antiparasitaire intégrée comporte diverses combinaisons des méthodes suivantes :

- choix des lieux : choisir les lieux qui se prêtent le mieux à la croissance de cultures saines
- sélection des *cultivars* : choisir les variétés de cultures qui sont résistantes aux agents nuisibles considérés comme déterminants
- gestion de l'eau et des éléments nutritifs : fournir la matière nécessaire à la croissance d'une culture qui est capable de résister aux dégâts des maladies et des pathogènes, ou de les tolérer
- assolements : faire alterner les cultures pour mettre un terme aux conditions du milieu qui encouragent la prolifération des organismes nuisibles
- stratégies de semis et de récolte : décider du temps de plantation et de récolte de manière à éviter les pics d'infestation
- lutte physique : éliminer les mauvaises herbes par sarclage, binage et désherbage à la main; empêcher la croissance des mauvaises herbes par la tonte et l'application de paillis
- hygiène : éliminer les milieux ou les matières dans lesquels les organismes nuisibles vivent et se reproduisent, utiliser des semences propres, enlever les débris végétaux infestés par les agents nuisibles et nettoyer les entrepôts et le matériel de manutention
- cultures pièges : planter des cultures pour attirer les agents nuisibles loin de la culture principale
- moyens de lutte biologique : encourager la présence des ennemis des organismes nuisibles, qui vivent naturellement dans l'agrosystème, ou libérer de nouvelles espèces qui s'attaquent à ces organismes nuisibles
- pesticides : utiliser des moyens de lutte chimique.

Le résultat net est la diminution de la quantité de pesticides utilisée.

*Source : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, 1996*

## Épandage de pesticides au Canada

Les herbicides peuvent être appliqués à divers stades du développement des cultures. Lorsqu'ils le sont avant les semis ou avant la levée, l'agriculteur ne connaît pas encore les conditions réelles d'infestation par les mauvaises herbes. Dans ce cas, l'herbicide est utilisé comme une assurance contre celles-ci. En fait, il est préférable que l'agriculteur s'occupe des mauvaises herbes seulement lorsqu'elles atteignent un niveau qui menace les rendements économiques. L'enquête sur la gestion des intrants agricoles réalisée par Statistique Canada en 1995 a montré que le stade de croissance des cultures était l'indicateur le plus communément utilisé pour décider à quel moment appliquer des herbicides dans les fermes canadiennes. Les dommages économiques, méthode la plus sûre sur le plan environnemental pour déterminer s'il y a lieu de faire des traitements et quand, étaient employés pour 20 % des terres agricoles canadiennes.

Le dosage précis des pesticides est une façon de réduire leur transport vers les eaux souterraines et superficielles. Le mode d'emploi qui paraît sur l'étiquette précise la dose d'application. La plupart des appareils modernes de pulvérisation peuvent débiter les pesticides aux doses correctes à condition d'être bien entretenus et réglés. Idéalement, les pulvérisateurs devraient être réglés entre les applications de différents pesticides. Selon l'enquête précitée, environ 76 % des producteurs canadiens qui ont appliqué des pesticides en 1995 se sont servis pour cette opération de leurs propres appareils. Sur ce nombre, environ 68 % (ce qui représente environ 54 % de la superficie cultivée traitée avec des pesticides) n'ont réglé leurs pulvérisateurs qu'au début de la saison; seulement 16 % les ont réglés à nouveau entre des applications de différents pesticides.

*Source : D.W.H. Culver, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

*Labourage de lisier liquide*



*Épandage de fumier*



une fertilisation insuffisante ou excessive des sols.

- Calculer la quantité de fumier à épandre en fonction de l'élément nutritif limitant et non de celui dont les cultures ont le plus besoin. La plupart du temps, les producteurs devraient estimer la dose d'application d'après la teneur en phosphore, car le rapport azote-phosphore (N:P) du fumier est généralement inférieur au rapport N:P dont les cultures ont besoin. Faire les épandages de fumier en fonction de l'azote a pour résultat d'ajouter trop de phosphore par rapport aux besoins des cultures, d'où une accumulation de ce dernier dans les sols.
- Incorporer le fumier au sol et éviter de l'épandre sur un sol gelé. Ces précautions réduisent le risque de ruissellement du phosphore et de l'ammonium. Ce dernier, à de fortes concentrations, peut devenir toxique pour les poissons.

Dans une comparaison sur 2 ans de deux régimes de gestion du fumier appliqués dans le sud de la région côtière de la Colombie-Britannique, du fumier a été épandu à l'automne. On a découvert qu'il y avait moins de danger de charger d'azote l'eau de surface en épandant le fumier sur une culture de couverture hivernale plutôt qu'en le laissant exposé à la surface du sol (fig. 8-6).

On procède actuellement à des recherches en vue de réduire les effets environnementaux de l'épandage du fumier en

- modifiant la nourriture des animaux et les systèmes d'alimentation pour réduire les concentrations d'azote et de phosphore dans le fumier
- en mettant au point de nouvelles techniques de manutention et d'épandage
- en examinant de nouvelles cultures et stratégies d'assolement pour mieux utiliser les éléments nutritifs contenus dans le fumier
- en mettant au point de nouvelles techniques de compostage du fumier
- en utilisant la *biotechnologie* pour produire du bétail qui utilise plus efficacement le phosphore contenu dans sa nourriture et qui, ainsi, en laisse moins dans le fumier.

Les déjections animales sont la principale source de bactéries d'origine agricole présentes dans l'eau. Une étude effectuée au Québec a montré que la fuite des bactéries contenues dans le fumier était plus élevée lorsque celui-ci était laissé à la surface de sol et exposé à la pluie peu après l'épandage (fig. 8-5).

**Pesticides**
Les pesticides sont plus efficaces lorsqu'ils sont conjugués à diverses autres méthodes de lutte antiparasitaire (*voir* l'encadré, p. 109). Surveiller les insectes nuisibles est une composante importante de la lutte antiparasitaire. Cette surveillance peut consister à faire l'examen visuel de la culture, à piéger les insectes nuisibles ou à les prélever avec un filet ainsi qu'à surveiller les conditions atmosphériques qui peuvent signaler des changements dans les populations. L'agriculteur peut, entre autres, adhérer à un réseau de détection des insectes nuisibles qui surveille l'évolution des populations et indique aux producteurs le moment d'appliquer des pesticides. La participation à ces groupes se traduit généralement par une diminution des applications et l'usage de quantités moindres de pesticides, ce qui réduit les coûts et les risques pour l'environnement. Si l'emploi de pesticides s'impose, il est alors préférable de

- choisir des produits qui s'attaquent spécifiquement aux insectes nuisibles visés, qui sont moins persistants et dont la toxicité, la pression de vapeur et le risque d'être lessivé sont les moindres
- suivre les lignes directrices au sujet des doses et des conditions d'application (appliquer une trop grande quantité du pesticide est dispendieux et dangereux pour l'environnement, mais en épandre trop peu peut rendre les ajouts nuisibles résistants à ses effets)
- choisir des méthodes d'application permettant au pesticide de s'attaquer spécifiquement à la cible appropriée plutôt que de l'épandre à tout le champ
- régler régulièrement les appareils d'application (*voir* l'encadré, p. 110).

L'industrie et les organismes de surveillance travaillent ensemble à déterminer les effets indésirables des pesticides pour l'environnement et à essayer de les corriger. Par exemple, dans le but d'apaiser les craintes de contamination de l'environnement, le profil d'emploi autorisé pour l'atrazine a été modifié, la forme originale du métalochlore a été retirée volontairement du marché par les fabricants tandis que l'aldicarbe a été radié de la liste d'homologation au Canada.

**Déchets**
L'exploitation d'une ferme, comme toutes les activités humaines, produit des déchets. De nombreux organismes provinciaux ont publié des lignes directrices ou des manuels sur les meilleures méthodes pour en disposer. Les sources de déchets qu'il faut traiter avec précaution pour éviter que la qualité de l'eau n'en souffre sont

- l'eau de lavage des salles de traite
- l'eau de lavage des étables
- les fuites des silos
- l'eau de ruissellement des cours d'exercice et des parcs d'engraissement
- les cadavres d'animaux de ferme
- l'huile usagée
- les contenants à pesticide.

Les fermes laitières, dans lesquelles on utilise couramment des systèmes de traite avec canalisations, ont souvent des problèmes d'eaux usées. L'eau servant à nettoyer ces systèmes est contaminée par les phosphates contenus dans les détersifs et les 5 à 10 litres de lait laissés dans les canalisations chaque jour. Pour empêcher l'entrée de phosphore et de matière solide du lait dans les eaux de surface, l'eau de lavage des salles de traite doit être éliminée convenablement. Pour cela, il faut, entre autres

- rincer au préalable les canalisations et servir cette eau de rinçage aux veaux les plus âgés
- envoyer l'eau de lavage dans le système d'entreposage du fumier ou dans un réservoir séparé et l'appliquer sur le sol lorsque les conditions s'y prêtent
- utiliser un système de traitement par tranchées d'infiltration, lesquelles fonctionnent selon le principe de la fosse septique, où se dépose la matière solide présente dans l'eau de lavage et qui permet aux liquides de percoler dans le sol par des tranchées de pierres concassées.

## Zones tampons et brise-vent

Malgré une utilisation judicieuse des intrants agricoles et des méthodes de conservation du sol, il se peut que des contaminants quittent quand même les champs. Pour les empêcher d'entrer dans les cours d'eau, on peut les piéger dans des zones tampons situées à l'extrémité des champs ou à des endroits dans le paysage où il y a ruissellement.

Par zones tampons, on entend des superficies ou des bandes de végétation naturelles ou plantées situées entre les terres agricoles et les étendues d'eau. Ces superficies de végétation permanente sont généralement couvertes de graminées (p. ex. bandes filtrantes ou voies d'eau engazonnées) ou d'une végétation naturelle composée de graminées, d'arbustes et d'arbres (*zones riveraines*). Les bassins-réservoirs recevant les eaux de drainage provenant des



*Brise-vent*

terres agricoles peuvent aussi servir de zones tampons.

Outre les autres avantages écologiques qu'elles présentent (*voir* le chapitre 7), les zones tampons améliorent la qualité de l'eau en filtrant les eaux de ruissellement et d'infiltration et en réduisant leur teneur en sédiments ainsi qu'en polluants dissous et particulaires. Une récente analyse de nombreuses études sur la capacité de filtration des zones tampons faisait état d'une efficacité de captage des sédiments allant de 50 % à près de 90 % pour des bandes tampons gazonnées de 1 à 9 mètres de largeur. L'efficacité s'accroît généralement avec la largeur de la bande. Des résultats similaires ont été signalés pour des tampons boisés de 10 à 60 mètres de largeur. Les zones tampons réussissent à capter des sédiments lorsque l'eau est peu profonde et que son écoulement est uniforme, mais moins si ce dernier est concentré. Il a également été démontré que les arbres et les arbustes plantés sur les berges gardaient le sol en place et réduisaient le ravinement. Cette stabilité diminue la quantité de sédiments qui entrent dans l'eau par l'érosion des berges.

La quantité de phosphore retenu par les bandes tampons varie selon sa forme. Le phosphore total est capté dans des proportions allant de 20 à 90 %, surtout à cause du dépôt des formes particulaires. D'un autre côté, le phosphore dissous est moins bien capté. Certaines études ont montré qu'avec le temps des zones tampons pouvaient accumuler de la matière riche en phosphore et devenir des sources de phosphore soluble. Les étangs et les terres humides peuvent aussi capter le phosphore, surtout durant les conditions estivales de faible écoulement. Toutefois, une partie sera probablement libérée durant les périodes de fort écoulement de l'automne et du printemps.

L'azote quittant les champs cultivés peut aussi être piégé par les bandes tampons. Comme pour le phosphore, les formes particulaires sont retenues plus efficacement que celles qui sont dissoutes. Dans une étude, les zones tampons ont réduit l'azote total de 63 à 76 % et les nitrates de 27 à 57 %, les bandes de 9 mètres étant plus efficaces que celles de 4,6 mètres. Dans une autre étude, les bandes engazonnées ont mieux réussi à retirer des eaux de ruissellement l'azote organique et celui qui était lié aux sédiments que les zones tampons boisées de même largeur.

La présence de nitrates dans l'écoulement souterrain constitue une forme importante de pertes d'azote dans l'environnement. Certains chercheurs ont tiré la conclusion que les zones tampons installées le long des cours d'eau contribuaient pour beaucoup à diminuer ces pertes grâce au captage de l'azote par la végétation et à la dénitrification des nitrates en divers gaz (azote, monoxyde d'azote et oxyde nitreux), bien qu'il soit possible que ceux-ci élèvent les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre. L'importance relative de ces deux phénomènes dans des conditions agro-environnementales différentes reste à être élucidée.

Les pesticides qui sont entraînés hors des champs cultivés par le ruissellement de surface peuvent aussi être retenus dans une certaine mesure par les bandes filtrantes. Selon une étude américaine, les pertes d'herbicide atrazine ont été réduites respectivement de 32 % et de 55 % par des bandes tampons de 4,6 et de 9,1 mètres. En France, 57 % des herbicides isoproturon et diflufenican ont été captés par une bande tampon de 5,7 mètres, et 68 % par une autre de 11,1 mètres.

Les *brise-vent* sont des arbres et des arbustes que l'on plante pour réduire l'érosion éolienne. Ils diminuent aussi la pollution des réseaux hydrographiques causée par les fines particules de sol transportées par le vent, qui sont généralement riches en éléments nutritifs et en matière organique et qui contiennent souvent des pesticides. En hiver, les brise-vent aident à réduire le mouvement de la neige et, au printemps, les ruissellements qui peuvent être extrêmement rapides et abondants. Des études réalisées dans certains pays ont montré que les brise-vent constitués d'arbres pouvaient aussi filtrer une partie des aérosols dérivant dans l'air à partir des superficies cultivées, réduisant le dépôt à la surface de l'eau de ces pesticides présents dans l'atmosphère.

## Rôle de l'industrie agricole

Ces dernières années, l'industrie agricole est devenue de plus en plus consciente de ses responsabilités envers l'environnement. Pour appuyer le mouvement en faveur d'une plus grande conscience écologique, elle se sert de trois moyens importants : créer et faire connaitre des *codes de pratique* et des *programmes de consultation entre pairs* et inciter les agriculteurs à dresser des *plans environnementaux des exploitations agricoles*.

### Codes de pratique

Les codes de pratique sont un moyen efficace de familiariser les membres du secteur agricole avec les concepts de la conservation et de l'environnement durable. Leur efficacité est maximale lorsqu'ils sont mis en oeuvre par des membres de l'industrie elle-même avec l'aide de scientifiques et autres spécialistes. Ils comprennent des lignes directrices que les producteurs peuvent suivre pour s'assurer que leurs façons de faire sont sans danger pour l'environnement. Le but est de les encourager à utiliser les méthodes qui sont le mieux adaptées.

En adhérant à un code de pratique, les producteurs profitent de nombreuses retombées positives :

- ils protègent l'eau qu'il utilisent
- ils acquièrent la réputation d'être des membres de l'industrie soucieux de l'environnement
- ils améliorent leur capacité à contracter de l'assurance et du crédit bancaire
- ils se protègent contre les poursuites pour atteinte à l'environnement, car il y a moins de risques qu'ils l'endommagent et plus de chances qu'ils soient reconnus pour leur bonne gestion
- ils se protègent contre les plaintes pour nuisance (dans de nombreuses provinces, une loi sur le droit de pratiquer l'agriculture est en place afin de protéger les producteurs contre de telles plaintes du moment qu'ils observent la réglementation, les lignes directrices et les codes de pratique);
- ils deviennent admissibles à des incitatifs de l'État dans certains domaines.

Les codes de pratique aident l'industrie agricole dans son ensemble puisqu'ils fournissent aux agriculteurs un moyen d'exercer des pressions sur leurs collègues qui ne respectent pas les objectifs environnementaux du code. Ils permettent aussi aux agents de l'État qui examinent la plainte de nuisance de vérifier si un producteur se conforme à une pratique acceptable.

**Consultations entre pairs en Colombie-Britannique**

Des organisations de producteurs en Colombie-Britannique dispensent des services de consultation entre pairs pour aider à régler des plaintes pour nuisance et pollution déposées contre des fermes de la province. Ces groupes de consultation sont appuyés par le ministère de l'Environnement et celui de l'Agriculture et de l'Alimentation de la province.

Lorsque une plainte est déposée, un conseiller, qui est lui-même agriculteur (un volontaire d'un groupe sectoriel)

- étudie la plainte
- rédige un rapport, incluant les correctifs qui doivent être apportés et le délai pour le faire, et l'envoie à l'agriculteur
- procède à une visite de suivi pour vérifier si l'agriculteur s'est conformé aux instructions
- renvoie le cas à l'organisme gouvernemental approprié si le problème persiste.

Les conseillers formés se trouvent un peu partout dans la province. La formation porte sur les normes environnementales, les méthodes de compte rendu, les façons d'obtenir de l'aide technique pour l'agriculteur et les directives à suivre pour demander l'intervention d'un organisme de réglementation. Bien que la plupart des plaintes soient traitées en premier lieu dans le cadre de ce programme, les agriculteurs demeurent en tout temps soumis aux dispositions de la loi et peuvent être tenus responsables de la pollution causée.

*Source : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique, 1995*

Dans certaines provinces, des codes de pratique sont inscrits dans la législation. Par exemple, la *Waste Management Act* de la Colombie-Britannique autorise le ministre de l'Environnement de cette province à combattre la pollution résultant de diverses formes de déchets. En vertu de cette loi, le règlement sur l'élimination des déchets agricoles prévoit spécifiquement des dispositions pour contrôler les déchets qui proviennent de la production de cultures et de l'élevage, le fonctionnement de machines servant à l'élimination des déchets agricoles ainsi que l'épandage d'engrais et d'amendements synthétiques. Le *Code of Agricultural Practice for Waste Management* est enchâssé dans ce règlement et décrit les méthodes pour utiliser, entreposer et éliminer les déchets agricoles d'une façon sûre pour l'environnement. Les producteurs qui agissent conformément au code sont exemptés de la nécessité contenue dans la loi de détenir un permis de gestion des déchets.



*Parachèvement d'un manuel de planification de l'environnement*

### Planification environnementale des exploitations agricoles en Ontario

Le *Environmental Farm Plan* (EFP), programme ontarien de planification environnementale des exploitations agricoles a débuté en 1993 comme programme pilote dans sept comtés. En réalisant volontairement un plan de ferme écologique, les familles d'agriculteurs peuvent cerner les points forts et les faiblesses de leurs opérations, sur le plan environnemental, et définir une stratégie qui peut les aider à pratiquer une agriculture mieux intégrée au milieu. Dans le cadre du programme, les agriculteurs assistent à un atelier où ils reçoivent un manuel du EFP dans lequel sont exposés les aspects des exploitations agricoles sur lesquels il y aurait lieu de se pencher, allant des puits à la faune. Après avoir procédé à une autoévaluation de sa ferme et préparé une stratégie pour remédier aux problèmes qui s'y appliquent, le participant remet ce plan pour examen confidentiel par des pairs. En juin 1999, environ 16 000 familles d'agriculteurs avaient participé à au moins un volet du programme. Pour aider les agriculteurs à mettre en oeuvre leurs plans d'action, un incitatif de 1 500 $ au maximum par entreprise agricole est mis à leur disposition.

La famille Coulter du comté de Grey a eu droit à une subvention et a aussi mérité une distinction du EFP pour sa solution innovatrice à la nécessité d'améliorer la qualité de l'eau dans son entreprise agricole. Une source avait fourni un approvisionnement fiable en eau potable pendant cinq générations à la ferme même. Mais lorsque l'eau a été analysée en 1996 pour l'obtention de crédit, on a découvert de fortes concentrations de coliformes et d'*E. coli*. Pour remédier à ce problème, l'ancien abri du puits a été enlevé et le sol tout autour a été creusé jusqu'à environ deux mètres de profondeur. Une couche de 0,6 mètre de pierres concassées a été ajoutée, puis un nouveau réservoir de béton a été placé au-dessus de la source. Un trou percé dans le fond du réservoir permet à la source de bouillonner à travers le gravier et d'être recueillie dans le réservoir, qui sert de citerne souterraine. Une canalisation de trop-plein achemine sans danger l'excès d'eau jusqu'à un cours d'eau voisin. L'aire entourant le réservoir a été remplie avec de la terre argileuse formée en talus et ensemencée pour éloigner l'eau du sommet du réservoir. De lourds couvercles en béton assurent un accès pour l'entretien et l'inspection courante. Une analyse bactérienne est maintenant effectuée deux fois par année.

Grâce à cette innovation, les Coulter jouissent à nouveau d'un approvisionnement continu en eau propre et vantent les mérites du Programme. Le travail fait sur le puits s'ajoute à un autre projet mené à la ferme pour empêcher les bovins d'avoir accès au cours d'eau par l'installation d'une clôture. Le ruisseau coule maintenant plus propre et dans un lit plus étroit, et l'on a récemment aperçu la truite brune en aval.

*H.B. Rudy et A. Graham, Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario*

## Programmes de consultation entre pairs

Dans certaines provinces, des programmes de consultation entre pairs ont été lancés pour aider les agriculteurs à comprendre le concept de l'environnement durable et pour leur éviter les sanctions prévues par les lois sur l'environnement. Si une plainte pour nuisance ou pollution est déposée contre un agriculteur, un conseiller parmi ses pairs (un collègue agriculteur) visite la ferme et suggère les mesures qu'il peut prendre pour respecter les lignes directrices, lois et codes pertinents. Ainsi, une éducation se fait et l'agriculteur a la chance de redresser la situation de son gré avant que les organismes de réglementation n'interviennent et ordonnent des correctifs (*voir* l'encadré ci-contre).

## Planification environnementale des exploitations agricoles

Apporter des changements aux pratiques agricoles pour le bienfait de l'environnement, y compris améliorer la qualité de l'eau, dépend de l'intérêt et de la coopération des agriculteurs. Des plans environnementaux sont un moyen pratique de faire participer les agriculteurs à ce projet et de les aider à rendre leurs opérations plus écologiques. Ce genre de plan est donc dressé volontairement par l'agriculteur pour identifier les points forts et les faiblesses de son exploitation sur le plan environnemental et pour fixer des objectifs d'amélioration réalistes à l'intérieur des limites imposées par le temps, son équipement et son budget. Il l'aide à bien peser les objectifs économiques et environnementaux de l'agriculture et l'encourage à adopter les meilleures pratiques de gestion en vue d'atteindre ces buts (*voir* l'encadré ci-contre).

Bien que ces plans soient conçus et réalisés par des agriculteurs, il reste que de la formation, des conseils et de l'aide pratique leur sont offerts par l'intermédiaire de divers programmes de l'État et par des organismes de l'industrie. Par exemple, en Ontario, ces programmes sont administrés par l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario et par le ministère provincial de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales. Dans la région de l'Atlantique, un tel programme était coordonné à l'origine par le *Atlantic Farmers Council*, avec l'aide technique du Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada. Il est maintenant appliqué par des organismes provinciaux.

## Rôle de la collectivité

Après une décennie d'effort, les programmes nord-américains comme le Plan vert du Canada et le Rural Clean Water Program aux États-Unis ont montré que, pour améliorer de façon tangible la qualité des eaux de surface dans les bassins hydrographiques agricoles, il fallait absolument la participation active de la collectivité rurale. Les modèles de prédiction de la contamination les plus sophistiqués, le personnel de vulgarisation le plus compétent et les programmes d'aide financière les plus généreux ne peuvent rien sans l'engagement des agriculteurs et des autres membres de la collectivité.

Mais, avant qu'elle puisse s'occuper du problème, la collectivité concernée doit convenir de la nécessité d'une intervention. La forme que prend celle-ci dépend de la valeur que la collectivité locale accorde à l'environnement et à la protection des divers usages de l'eau. Sensibiliser les partenaires potentiels à ce problème est une première étape essentielle dans l'établissement d'un groupe de gestion d'un bassin hydrographique (*voir* l'étude de cas sur la rivière Boyer, p. 116 et l'encadré, p. 118). Cette première action sera d'autant plus efficace que l'initiative est prise par les agriculteurs et les autres utilisateurs des terres.

La diversité des intérêts, des responsabilités et du savoir-faire nécessaire à ce type de projet nécessite la création d'une coalition à l'échelle de la région, incluant les municipalités, les services privés et publics de consultation en matière d'agriculture et d'environnement, les représentants locaux des organisations gouvernementales, des organismes privés et des groupes de défense de l'intérêt public, des groupes communautaires et des agriculteurs qui cultivent les terres à l'intérieur du bassin hydrographique (*voir* l'étude de cas sur la région de Waterloo, p. 117). Une telle coalition peut sembler difficile à mettre sur pied et à faire fonctionner, mais elle rapportera d'énormes dividendes en ce qui a trait à la cohérence du projet et au sentiment de tous les participants d'en faire partie.

## Rôle de l'État

### Politiques et programmes

La loi et les règlements ont tendance à traiter de pollution après le fait accompli (*voir* le chapitre 11). En principe, le gouvernement fédéral préfère quand même prévenir plutôt que guérir. Dans le document *La prévention de la pollution : Une stratégie fédérale de mise en oeuvre*, publié en juin 1995, la prévention arrivait au premier rang d'une liste d'activités visant le problème de la pollution, suivie par la récupération, le contrôle, l'élimination et la correction.

Pour favoriser la prévention de la pollution et la conservation des ressources, on a élaboré des politiques et des programmes dans toutes les parties du pays. Dans le cadre de ces initiatives, de l'information, de l'aide technique et, parfois, des incitatifs financiers sont mis à la disposition des agriculteurs pour les encourager à adopter des méthodes de conservation qui protègent le sol, l'eau et l'air. Par exemple, en 1998, le gouvernement de la Colombie-Britannique a lancé son plan d'action « Tackling Non-point Source Water Pollution in British Columbia », qui, en combinant éducation, planification, incitatifs et règlements, cherche à améliorer la qualité de l'eau dans les campagnes.

Les pratiques de conservation qui empêchent ou, du moins, réduisent l'entrée de substances agricoles dans l'eau sont nécessaires, surtout dans les régions qui sont les plus vulnérables. La plupart des pollutions se produisent dans des endroits précis des bassins hydrographiques. En fait, de nombreuses études ont montré qu'une petite portion d'un bassin hydrographique peut être responsable de la majeure partie des charges polluantes d'un cours d'eau. Les efforts de ciblage axés sur la prévention de la pollution dans ces régions font un usage optimal des ressources limitées d'aujourd'hui et encouragent une rationalisation des politiques et des programmes de l'État. Il est prioritaire de cerner ces régions, tâche qui peut s'avérer plus compliquée qu'elle n'apparaît d'abord. Certaines situations agricoles qui semblent comporter un risque pour la qualité de l'eau peuvent, en fait, avoir peu d'effets, voire aucun, alors que d'autres apparemment inoffensives peuvent présenter de sérieux dangers de pollution et nécessiter des correctifs. Des modèles mathématiques reproduisant le comportement physique et chimique des bassins hydrographiques peuvent être utiles pour déterminer les régions à risque élevé et élaborer des plans pour réduire ces risques.

### Incitatifs

La réglementation sur la dégradation de l'environnement a eu tendance à se concentrer sur les dégâts environnementaux une fois qu'ils se sont produits. Au contraire, les incitatifs encouragent l'industrie à réduire ou à prévenir la pollution. Les approches incitatives ont été mises de l'avant pour remédier à la pollution créée par des sources

## Étude de cas
## Assainissement de la rivière Boyer au Québec

Il y a trentre ans, la rivière Boyer était une frayère prolifique pour l'éperlan et un lieu de baignade recherché. Mais après des années de pollution industrielle, municipale et agricole, elle est devenue tellement chargée d'éléments nutritifs et de sédiments en suspension qu'elle a fait fuir les baigneurs et provoqué l'effondrement de la pêche à l'éperlan.

Située près de Québec, sur la rive sud du Saint-Laurent, la rivière Boyer draine un bassin hydrographique de 21 700 hectares. Environ 60 % de cette étendue est constituée de terres agricoles, consacrées pour la plupart à un élevage très dense. Plus de la moitié des 275 fermes de la région élèvent des porcs. Les éléments nutritifs qui s'échappent de ces fermes par ruissellement ont contribué à la pollution de la rivière — on estime que l'excédent annuel d'éléments nutritifs charrié dans ce bassin hydrographique équivaut à 317 tonnes de phosphore et à 630 d'azote (la quantité laissée dans le système après les récoltes).

Pour réussir à restaurer la qualité de l'eau d'une rivière, il faut que toute la population du bassin hydrographique participe à l'effort. Aussi, en dressant un plan de réhabilitation de la rivière, les organisateurs se sont rendu compte de l'importance de faire comprendre aux gens

- la nature et l'étendue du problème de contamination de l'eau
- l'importance de la qualité de l'environnement pour le développement économique de la région
- les façons pour eux de participer à la revitalisation de la rivière.

Pour commencer le travail, on a mis sur pied un comité (le GIRB — Groupe d'intervention pour la restauration de la Boyer), formé de représentants des groupes d'agriculteurs, des municipalités ainsi que des ministères provinciaux de l'Agriculture et de l'Environnement. On a conçu un logo et produit un bulletin intitulé *Au courant*. Le comité a organisé de nombreuses assemblées d'information publiques et des séances de formation sur des sujets comme la fertilisation intégrée, le recyclage des déchets et le compostage.

Le comité a aussi obtenu de l'aide des gouvernements provincial et fédéral ainsi que du secteur privé pour avoir accès à des programmes précis de nettoyage de l'eau et pour introduire des pratiques de conservation des ressources. Par exemple, ces programmes ont permis à des agriculteurs de bâtir des structures d'entreposage du fumier appropriées et de réaliser des travaux de génie pour stabiliser les berges, aménager des lieux d'abreuvement pour le bétail et restreindre l'accès des animaux à la rivière. Les agriculteurs ont aussi travaillé avec un expert de l'agriculture et de l'environnement (« éco-conseiller ») à la mise au point de meilleures pratiques de gestion.

Ce projet a créé un sentiment d'identité, d'appartenance et de coopération entre les gens à l'intérieur de ce bassin hydrographique, atout inestimable dans les entreprises futures.

*C. Bernard,Institut de recherche et de développement en agroenvironnement*
*M. R. Laverdière, Université Laval*
*M. C. Nolin, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

## Étude de cas

## Établissement de partenariats entre le gouvernement et les agriculteurs dans la municipalité régionale de Waterloo (Ontario)

La Municipalité régionale de Waterloo (la Région) est située dans le bassin hydrographique de la rivière Grand dans le centre-sud de l'Ontario. La Région est responsable de l'adduction d'eau et du traitement des eaux usées pour environ 400 000 personnes dans sept municipalités de la région. Elle renferme plus de 50 % de la population du bassin hydrographique de la rivière Grand, qui couvre une superficie d'environ 7 000 kilomètres carrés. Environ 93% de la surface du bassin hydrographique fait partie de la zone rurale et 7 % de la zone urbaine.

Des travaux réalisés récemment dans la Région indiquent que 70 % de la charge de phosphore de la rivière provient de sources rurales diffuses (c.-à-d. surtout du ruissellement provenant des terres agricoles). Environ 17 % provient des usines municipales de traitement des eaux usées. Un travail plus détaillé portant sur un des principaux affluents de la Grand (la rivière Nith) révèle que 40 à 99 % de la charge de phosphore vient là aussi de sources rurales diffuses, selon le débit et le temps de l'année. S'appuyant sur ces études et d'autres semblables, la Région en a conclu que la qualité de l'eau dans la rivière Grand et ses affluents avait peu de chances de s'améliorer tant qu'on ne s'attaquerait pas aux sources rurales diffuses de contamination. L'élimination ou la réduction de ces sources bénéficiera à la région :

- amélioration de la sécurité et de la fiabilité de l'approvisionnement en eau potable
- renvoi à plus tard ou réduction des coûts d'amélioration des usines de traitement des eaux usées
- élimination ou remise à plus tard des contraintes absolues s'appliquant aux expansions de ces usines de traitement.

Reconnaissant les avantages de réduire les impacts ruraux sur la qualité de l'eau, le Rural Water Quality Program a été approuvé en principe en avril 1997. Ce programme offre des incitatifs financiers aux propriétaires de terres rurales pour les encourager à mettre en oeuvre des mesures visant à améliorer la qualité des eaux superficielles et souterraines.

La Région a fourni 1,5 million de dollars pour le financement du programme sur 5 ans. D'autres organismes, (notamment le Programme national de conservation des sols et de l'eau et la Grand River Conservation Authority) fournissent aussi une aide en nature ou en espèces à ce programme.

L'élaboration du programme a été guidée par un comité d'orientation composé de groupes locaux et provinciaux intéressés. Parmi les membres, mentionnons des groupes locaux de production, la Fédération de l'agriculture de l'Ontario, l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario, la Ontario Farm Environment Coalition et divers ministères provinciaux. Le comité d'orientation a fixé des critères d'admissibilité, les mesures à financer, les niveaux de financement ainsi que des modalités de demande d'adhésion et d'approbation. Cette approche coopérative a donné un programme qui satisfait aux besoins et aux intérêts de tous les intéressés.

Avant la fin de 1998, plus de 90 propositions avaient été reçues de la part d'agriculteurs intéressés. Parmi elles, 52 ont été approuvées pour un financement total de 260 000 $. Les agriculteurs participants fourniront une quantité appréciable de ressources (en espèces et en nature) à ces projets, de sorte que la valeur totale des projets mis en oeuvre sera énormément plus élevée. Parmi les projets approuvés, mentionnons la construction d'installations d'entreposage du fumier et l'établissement de plans associés de gestion des éléments nutritifs, la mise en place de systèmes de traitement de l'eau de lavage des salles de traite, la déviation de l'eau propre des entrepôts à fumier et la restriction de l'accès du bétail aux cours d'eau.

Le programme a des retombées positives appréciables sur tous les partenaires. La région profite d'une meilleure fiabilité de l'approvisionnement en eau potable et du traitement des eaux usées. Les agriculteurs participants reçoivent de l'aide technique et financière pour appliquer des mesures qui, dans bien des cas, leur rapportent des bénéfices économiques et environnementaux. En effet, de telles mesures améliorent la viabilité des fermes, leur productivité à long terme et leur rentabilité. Toute la collectivité du bassin hydrographique de la rivière Grand jouira de l'amélioration de la qualité de l'eau qui en résultera. Un dernier effet positif, bien qu'intangible, est que les collectivités urbaines et rurales sont en train de mieux comprendre leurs besoins et leurs intérêts mutuels.

*M.L. Murray, Municipalité régionale de Waterloo*

### Groupe pour la qualité de l'eau du bassin de la rivière Oldman

Le bassin de la rivière Oldman est la région de l'Alberta où l'agriculture est la plus intensive; on y pratique des cultures irriguées et un élevage à grande échelle. Lethbridge, troisième ville en importance de la province, ainsi qu'une multitude de petites villes et de villages sont situées dans ce bassin. Or, la qualité de l'eau est de plus en plus préoccupante, car l'agriculture et les industries de transformation des aliments continuent de s'étendre pour servir des marchés internationaux en croissance.

Le Oldman River Basin Water Quality Group est l'initiative d'une large coalition de personnes et d'organismes soucieux de préserver la santé du bassin de la rivière Oldman, de ses affluents et des terres avoisinantes. Ses membres représentent tout un éventail de groupes, notamment des producteurs agricoles, des mouvements écologistes, des organismes de l'État, des organismes municipaux, des villes, des établissements d'enseignement supérieur, des groupes d'autochtones et des citoyens.

En décembre 1997, un atelier sur la qualité de l'eau a été organisé à Lethbridge pour évaluer l'état actuel de l'eau dans le bassin de la rivière Oldman et dans les canaux de retour des réseaux d'irrigation. Les participants ont recommandé l'élaboration d'un plan global pour le bassin afin d'intégrer

- l'éducation et la sensibilisation des gens
- l'évaluation de l'usage actuel des terres dans le bassin
- la mise en oeuvre de méthodes de gestion qui ne nuisent pas à la qualité de l'eau
- la surveillance de la qualité de l'eau dans le bassin pour cerner et évaluer l'incidence de diverses activités et déterminer dans quelle mesure les méthodes de gestion contribuent à améliorer la qualité de l'eau.

En mars 1998, le groupe a rédigé le plan d'action du projet relatif à la qualité de l'eau du bassin de la rivière Oldman (Oldman River Basin Water Quality Initiative Action Plan). Ce plan quinquennal est une réponse dynamique qui permettra à tous les intéressés de participer à l'élaboration des politiques axées sur la protection de la qualité des eaux de surface.

*J.J. Miller, Agriculture et Agroalimentaire Canada*

ponctuelles, à cause de leur efficacité à atteindre un objectif environnemental donné au moindre coût.

Parmi les exemples d'incitatifs visant à contrôler la qualité de l'eau, mentionnons

- le prélèvement de droits sur le déversement réel ou estimatif de polluants dans l'eau pour forcer le pollueur à payer pour au moins une partie des dégâts causés. Toutefois, ces droits sont difficiles à imposer pour la plupart des résidus agricoles qui empruntent des voies diffuses et indirectes parfois sur de longues périodes pour aboutir au milieu récepteur.
- la perception de taxes ou l'octroi de subventions sur la qualité de l'eau d'un milieu récepteur ou sur les intrants agricoles et les pratiques de gestion. Ces mesures seraient abandonnées si le contrôle de la pollution était inadéquat.
- la reconnaissance d'une responsabilité, qui rend les pollueurs responsables des dégâts qu'ils causent en ce qui concerne la qualité de l'eau.

Étant donné qu'il est souvent difficile d'obtenir l'information nécessaire pour utiliser des incitatifs fondés sur la qualité de l'eau, les politiques environnementales en agriculture ont tendance à se servir de taxes et de subventions pour influer sur les décisions en matière de production. Par exemple, les États-Unis et un certain nombre de pays européens ont prélevé des taxes sur les intrants agricoles, en particulier les engrais et les pesticides. Ces taxes peuvent être administrées facilement, et les revenus peuvent servir à soutenir des programmes environnementaux qui éduquent les agriculteurs et favorisent l'adoption de bonnes méthodes de gestion. D'autre part, des incitatifs financiers peuvent être offerts sous forme de subventions pour l'adoption de méthodes écologiques ou de paiements pour la production d'une denrée qui n'est pas néfaste pour l'environnement, comme dans le Rural Water Quality Program, décrit dans l'étude de cas sur la région de Waterloo, p. 117.

Les garanties de bonne exécution fonctionnent bien pour des problèmes comportant des coûts bien identifiés de dédommagement résultant de l'action de quelques agriculteurs, mais ces conditions sont rares (un exemple est le transport de déchets par des exploitants à forfait). Les règles de responsabilité ne conviennent qu'à certaines situations où les cas de pollution sont peu fréquents, où il y a peu de parties en cause et où les liens de cause à effet sont évidents (p. ex. déversements accidentels de fumier ou de pesticides).

Les coûts subis par les agriculteurs pour réduire la pollution, et par les chargés de la réglementation pour surveiller et faire appliquer les lois en vigueur, doivent se comparer aux avantages générés par n'importe quel incitatif en ce qui concerne l'amélioration de la qualité de l'eau. À cause de la diversité régionale de l'agriculture au Canada, les contrôles et les incitatifs doivent être choisis et appliqués en fonction des conditions locales. De plus, à cause de la difficulté à cerner la pollution par sources diffuses, la meilleure stratégie repose sans doute sur les progrès de la technologie visant à réduire l'apport d'intrants agricoles, comme la gestion des éléments nutritifs, y compris l'agriculture de précision et les applications d'intrants à des doses variables. Les initiatives menées par l'industrie, comme le processus

d'inscription pour la qualité environnementale applicable à l'agriculture de l'Organisation internationale de normalisation (ISO 14000) ont aussi un rôle à jouer.

Des incitatifs financiers pourraient servir à encourager l'adoption de pratiques écologiques. Dans les exemples trouvés au Canada, ce genre d'aide a généralement été axé sur la réduction de l'érosion du sol et a été offert à tous plutôt qu'aux producteurs causant le problème.

Étant donné les différences qui existent entre les entreprises agricoles, et dans leur impact sur l'environnement, une politique efficace consistera en un système d'incitatifs de gestion adapté aux conditions locales. À certains endroits, des encouragements à adopter des plans relativement peu coûteux de gestion des éléments nutritifs pourront suffire pour améliorer la qualité de l'eau. Ailleurs, comme dans les régions où l'élevage est fortement concentré, il faudra peut-être une combinaison de directives et de règlements. Quoi qu'il en soit, les agriculteurs peuvent s'attendre à ce que les contrôles environnementaux exercés sur leur façon de faire deviennent plus rigoureux avec le temps et nécessitent de leur part de réfléchir et d'investir temps, argent et autres ressources pour respecter la loi.

## Conclusion

Il existe de nombreuses avenues pour réduire l'impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau. Au cours de la dernière décennie, de nombreux agriculteurs canadiens ont adopté des méthodes visant à préserver le sol et l'eau, mais il reste beaucoup à faire. La gestion des éléments nutritifs, en particulier en ce qui concerne l'entreposage, la manutention et l'épandage du fumier, la lutte antiparasitaire intégrée et l'arrêt de la dégradation des sols — phénomène qui contribue directement ou indirectement à la pollution de l'eau —, tout cela nécessite un plus grand engagement de la part des agriculteurs. En même temps, poursuivre la recherche est essentielle, et les gouvernements devraient accorder plus d'attention aux politiques et aux programmes qui vont dans le sens d'un environnement durable. Ils devraient aussi procéder à des évaluations économiques pour mieux établir les avantages pour les agriculteurs et la société d'améliorer la qualité de l'eau.

La recherche régionale et le projet national d'indicateurs agro-environnementaux d'Agriculture et Agroalimentaire Canada pointent du doigt les régions où l'on pratique des cultures et un élevage intensifs comme les principales sources de contamination de l'eau causée par l'agriculture. Or, ces régions sont appelées à s'élargir à mesure que les pressions monteront pour satisfaire une demande mondiale croissante de produits agricoles. Mais, l'intensification de l'agriculture entraînera un usage accru d'énergie et de ressources et comportera une plus grande menace pour l'environnement à moins qu'il n'existe un solide incitatif à valoriser la santé de l'environnement autant que les objectifs de production et de profit.

L'opinion publique sur la qualité de l'eau et les pressions exercées sur le marché par le choix, chez les consommateurs, de marchandises produites dans le respect de l'environnement pourraient finalement dicter la façon de produire en agriculture. Mais ces deux forces ne s'exercent qu'en réaction à un phénomène. L'agriculture doit continuer à prendre des mesures pour redresser les torts qu'elle fait à l'environnement et chercher des moyens de restaurer et de préserver la qualité de l'eau avant que l'opinion publique ne se soulève contre les pratiques agricoles, au point de forcer l'application de contrôles réglementaires stricts. Le véritable défi consiste à atteindre des objectifs environnementaux qui sont en accord avec la réalité économique à laquelle sont confrontés les agriculteurs.

# 9. Le maintien d'un approvisionnement fiable en eau

*J. Sketchell, A. Banga, P.Y.T. Louie, N.J. Shaheen, T.W. Van der Gulik et R.J. Woodvine*

**Points saillants**

- Il faut un approvisionnement suffisant en eau de qualité pour les activités agricoles comme l'irrigation et l'abreuvement du bétail, pour les applications domestiques, municipales, industrielles et récréatives ainsi que pour les utilisations non consommatrices.
- Si les sécheresses sont inévitables, elles sont aussi difficiles à prévoir. Elles surviennent le plus souvent dans les régions sèches comme les Prairies, bien que d'autres parties du Canada connaissent des périodes de sécheresse plus courtes et moins graves. La sécheresse menace la production tant végétale qu'animale. Devant le risque possible d'un réchauffement planétaire et la tendance à la hausse des populations, de l'urbanisation et de la consommation, les effets de la sécheresse ne peuvent que s'aggraver.
- L'aménagement d'étangs-réservoirs et de réservoirs d'emmagasinement est un élément déterminant du maintien d'un approvisionnement suffisant toute l'année, en particulier dans les parties les plus arides du pays. L'Ouest du Canada compte environ 155 000 étangs réservoirs et 21 500 réservoirs qui fournissent des quantités suffisantes d'eau aux régions rurales.
- L'eau souterraine est une source majeure d'eau dans de nombreuses parties du pays. Pour garantir une utilisation durable de l'eau souterraine, il faut que la vitesse à laquelle on la puise ne dépasse pas sa réalimentation. Les aquifères profonds, dont la réalimentation ne se produit que par l'eau filtrant à travers les matériaux sus-jacents, sont particulièrement exposés aux pompages excessifs.
- La réutilisation des eaux usées et la gestion de la demande est de plus en plus perçue comme une façon de parvenir à une utilisation plus judicieuse de l'eau dans les programmes de conservation. Cette approche nécessite : une compréhension de ce qu'il en coûte vraiment pour fournir de l'eau et éliminer les eaux usées; l'utilisation de technologies, de méthodes et de procédés différant des approches traditionnelles et favorisant un usage plus efficace de l'eau; l'éducation des utilisateurs de cette ressource.

## Introduction

Un approvisionnement suffisant en eau de qualité durant toute l'année est un élément déterminant de toutes les activités humaines. La disponibilité de l'eau suscite des préoccupations grandissantes avec l'augmentation des demandes et de la concurrence pour l'eau par tous les secteurs de la société. La gestion des approvisionnements en eau doit tenir compte de tous les usages concurrents de cette ressource, notamment de ceux qui sont liés à l'agriculture, à l'industrie, aux municipalités, aux loisirs et aux écosystèmes aquatiques.

Le présent chapitre examine les effets de la sécheresse sur les approvisionnements en eau, sur la gestion des eaux superficielles et sur la réalimentation des eaux souterraines. Il porte également sur les contraintes qui s'exercent sur la ressource et sur les façons d'équilibrer la demande et l'approvisionnement et de partager l'eau entre ses nombreux utilisateurs. Comme l'eau est plus rare dans les régions semi-arides de l'intérieur de la Colombie-Britannique et dans les Prairies, les exemples cités concernent plus fréquemment ces régions.

## La sécheresse

La sécheresse est une longue période de temps anormalement sec qui épuise les ressources en eau. Comme la plupart des activités humaines et des écosystèmes dépendent d'un approvisionnement fiable et suffisant en eau, la sécheresse a de profonds retentissements. Elle affecte nos vies

- en exerçant des contraintes sur les approvisionnements en eau et en aliments
- en dégradant l'environnement par la mauvaise qualité de l'eau et un plus grand nombre de feux de forêt, par l'intensification de l'érosion du sol et des infestations par les insectes
- en portant préjudice à l'économie du fait de la réduction de la capacité de production agricole, de production d'électricité, de transport et de fabrication.

Dans le domaine de l'agriculture, le déficit hydrique provoqué par la sécheresse rend les sols arables vulnérables et constitue une menace pour la production tant végétale qu'animale. À la suite de graves sécheresses, les agriculteurs peuvent subir des pertes de plusieurs millions de dollars.

Bien que la sécheresse puisse survenir sous tous les types de climat, les régions semi-arides comme l'intérieur de la Colombie-Britannique et le sud des Prairies sont des plus vulnérables, car elles connaissent déjà régulièrement un déficit hydrique et des précipitations fort variables. La sécheresse peut frapper des régions dont la taille va de celle d'une ville à celle d'un continent entier. De tous les risques météorologiques, elle est probablement la plus lente à se développer, la plus longue et la moins prévisible.

*Effet de la sécheresse*

Trois types fondamentaux de sécheresse peuvent survenir séparément ou simultanément :

- *la sécheresse météorologique* qui survient lorsque les précipitations sont bien inférieures à la normale au cours d'une longue période
- *la sécheresse agricole* qui survient lorsque la faible humidité du sol, associée à la rareté de l'eau, arrête la croissance végétale, diminue les rendements et met en danger le bétail
- *la sécheresse hydrologique* qui se produit lorsqu'une longue sécheresse météorologique provoque une brusque diminution du niveau des eaux souterraines, des rivières, des fleuves et des lacs.

La date d'apparition d'une sécheresse peut en déterminer le type. Par exemple, les sécheresses estivales provoquent habituellement plus de problèmes, car elles coïncident avec la période de plus forte demande d'eau.

Au cours des 200 dernières années, l'Ouest du Canada a connu au moins 40 graves périodes de sécheresse. La plus grave a été la longue sécheresse des années 1930 alors que les Prairies ont reçu environ 40 % moins de précipitations que la normale. La pire sécheresse en Saskatchewan a sévi en 1961, alors que les précipitations ont été de 45 % par rapport à la normale et que les pertes, dans le secteur de la production du blé uniquement, ont atteint 668 millions de dollars. Les sécheresses ont aussi été fréquentes au cours des années 1980. L'été 1988 a été le plus chaud dans de nombreuses régions du Canada; les précipitations au cours de la période de végétation dans le sud des Prairies se sont chiffrées en moyenne de 50 à 80 % sous la normale. Cette sécheresse a été préjudiciable à tous les secteurs de l'économie. En agriculture, la production céréalière a reculé de 31 % par rapport à 1987 et les pertes à l'exportation ont été évaluées à 4 milliards de dollars. Les sécheresses frappent également l'Est du Canada, mais y sont habituellement plus courtes, moins étendues, moins fréquentes et moins graves.

Bien que les sécheresses aient été répandues et fréquentes au cours des années 1980 au Canada, on ne dispose pas de suffisamment de preuves pour déceler une tendance. Elles ont aussi été fréquentes au cours des années 1890 et 1930 et ont été considérées comme un effet de la variabilité naturelle du climat. Selon les scénarios sur le réchauffement planétaire, la fréquence et la gravité des sécheresses devraient augmenter, lorsque les précipitations ne suffisent pas pour compenser les pertes croissantes d'eau par évaporation. Cependant, l'incertitude des modèles climatiques, en particulier en ce qui a trait aux précipitations, rend difficile toute prévision fiable sur les lieux, les dates et l'ampleur des sécheresses à l'avenir.

La sécheresse est le résultat d'une combinaison de nombreux facteurs comme

- des précipitations inférieures à la normale
- de l'air sec et chaud sur de longues périodes
- la présence d'un sol déjà peu humide.

En raison de cette complexité, il faut utiliser un grand nombre de variables climatiques et hydrologiques pour contrôler et déceler les sécheresses, notamment la température, les précipitations, l'humidité du sol, les écoulements et les conditions des approvisionnements en eau.

De nombreux indices de sécheresse ont été élaborés pour tenter de combiner les divers paramètres influant sur les sécheresses en un chiffre unique. À

titre d'exemple, citons l'indice de précipitation cumulative, fondé sur un paramètre unique, celui des précipitations, et l'indice Palmer de gravité de sécheresse, plus complexe, basé sur une analyse en profondeur du bilan des eaux superficielles et une comparaison entre les valeurs réelles et les valeurs possibles compte tenu du climat.

La sécheresse demeure un phénomène mal connu, et des recherches devront se poursuivre pour nous permettre d'améliorer notre aptitude à la déceler, à l'analyser (en particulier en ce qui a trait aux probabilités et aux statistiques extrêmes) et à la prévoir. En raison de la nature pluridisciplinaire de cette recherche et des effets plurisectoriels de la sécheresse, il faut un effort intégré en sciences physiques, biologiques et sociales pour élaborer des réponses efficaces (*voir* l'encadré ci-dessous sur El Niño).

Les efforts en vue d'atténuer l'effet de la sécheresse vont des migrations massives dans le passé à l'élaboration de technologies de protection contre la sécheresse et à la mise en place de programmes d'assurance-récolte et de programmes d'aide à grande échelle. La plupart des mesures touchant les ressources en eau ont visé principalement l'approvisionnement. Bien que cette approche ait été fructueuse dans le passé, la capacité d'emmagasinement supplémentaire de l'eau pour se prémunir contre les sécheresses peut être utilisée sans discernement au cours des années sans sécheresse. Ceci crée de nouvelles demandes. Les auteurs de ces nouvelles demandes se mettent alors à compter sur les nouveaux réservoirs comme source permanente, de sorte que le rôle de secours de ces nouveaux réservoirs pour les utilisateurs d'origine pourrait se trouver entravé. Lorsque la sécheresse revient, il est possible que les effets soient encore plus considérables que si de nouveaux réservoirs n'avaient pas été construits. Le côté demande de l'équation de l'offre et de la demande d'eau doit être soigneusement examiné lors de l'élaboration de plan de protection contre la sécheresse.

## Gestion des eaux superficielles

Les responsables de la gestion de l'eau dans la région des Prairies se heurtent à la gestion des extrêmes, en l'occurrence les inondations et les sécheresses, tout en tentant de maintenir des approvisionnements fiables en eau pour satisfaire aux besoins fondamentaux des humains et aux demandes attribuables au développement économique. En raison de la nature de l'hydrologie des Prairies, du fort degré de variabilité des précipitations et de la brièveté de la période d'écoulement printanier, des ouvrages d'emmagasinement doivent être construits et gérés pour assurer un approvisionnement durant toute l'année. Ces ouvrages prennent la forme de réservoirs, de barrages, d'étangs réservoirs et de lacs naturels (*voir* l'encadré, p. 124).

L'un des défis d'importance qui se présente aux gestionnaires de l'eau revient à localiser les sources d'approvisionnements en eau superficielle par rapport aux lieux d'utilisation. Les utilisateurs d'eau (les foyers, les municipalités, l'agriculture et l'industrie) réclament habituellement un certain nombre de ressources et de services et ne sont pas toujours situés près de leurs sources d'approvisionnement en eau. Assurer un approvisionnement fiable aux utilisateurs suppose

### Les effets d'El Niño

Au cours des 30 dernières années, les phénomènes El Niño ont eu une forte intensité en 1972, 1982, 1987 et 1997, alors que les températures de la mer ont été plus chaudes que la normale dans la partie orientale du Pacifique équatorial. La manifestation du phénomène El Niño peut avoir des relations avec de graves sécheresses, en particulier dans les régions tropicales. Le phénomène El Niño modifie les schémas de circulation générale, à l'échelle planétaire, en modifiant la position et l'intensité des courants-jets sur toute la planète qui, à leur tour, provoquent un changement de la configuration des précipitations mondiales. Ces changements peuvent donner lieu à des sécheresses dans les régions agricoles et à de fortes pluies dans des régions normalement arides.

L'intensité élevée du phénomène El Niño en 1982, désigné alors comme le phénomène El Niño du siècle, s'est accompagnée de plusieurs sécheresses dévastatrices dans le monde et a aggravé la condition des régions déjà arides du Canada. L'hiver 1997-1998 a lui aussi été affecté par un phénomène El Niño record. Edmonton a enregistré le mois de décembre le plus chaud de tous les temps, et les Prairies ont connu un Noël brun. Au cours du printemps et de l'été 1998, les précipitations ont été de 20 à 40 % inférieures à la normale en Colombie-Britannique, dans l'ensemble des Prairies et dans le sud de l'Ontario. Pour l'ensemble de l'année, les régions productrices de céréales des Prairies et les collectivités agricoles de l'Ontario et du Québec ont été frappées par des périodes de sécheresse provoquées par une diminution de près de 20 % de la quantité des précipitations. Seule une étroite bande de terre le long de la frontière entre le Canada et les États-Unis a échappé à cette sécheresse, alors que des parties du sud de la Colombie-Britannique et de l'extrême sud du Manitoba ont, en fait, reçu des précipitations supérieures à la moyenne pour l'année.

Le phénomène El Niño se manifeste périodiquement, ce qui laisse croire qu'il permettrait de prévoir les sécheresses. Cependant, tant que d'autres travaux de recherche ne seront pas terminés, ce phénomène demeure un outil peu fiable pour prévoir exactement le lieu et l'intensité des sécheresses au Canada.

*A. Shabbar, Environnement Canada*

### Alimentation en eau de la Saskatchewan aride

La construction du barrage Gardiner de 1959 à 1963 a donné lieu à la création du lac Diefenbaker, sur la rivière Saskatchewan-Sud, à environ 120 kilomètres en amont de Saskatoon, en Saskatchewan. Le barrage Qu'Appelle, qui empêche le réservoir de déborder et de s'écouler dans la Vallée de la Qu'Appelle, est pourvu d'ouvrages de régularisation qui permettent d'alimenter le bassin de la Qu'Appelle en eau.

Les rivières St. Mary, Oldman, Bow et Red Deer constituent les eaux d'amont de la rivière Saskatchewan-Sud le long des versants orientaux des montagnes Rocheuses en Alberta. Bien que les Rocheuses et leurs contreforts n'occupent que 15 % du territoire drainé vers le lac Diefenbaker, ils fournissent 85 % du débit entrant annuel. Près de 80 % de ce volume est constitué d'eau de la fonte des neiges des régions à plus haute altitude, principalement en mai et en juin. De graves inondations peuvent survenir lorsque des périodes de violents orages coïncident avec la fonte des neiges des montagnes.

La gestion du réservoir est sans contredit l'élément le plus important dans le maintien d'un approvisionnement fiable dans la majeure partie de la province de la Saskatchewan. Le lac Diefenbaker alimente les municipalités et les industries, la faune, l'irrigation, les activités récréatives, la production d'énergie hydro-électrique, la maîtrise des crues et sert à la gestion de l'écoulement en aval.

Grâce au contrôle et à la régularisation des débits au lac Diefenbaker, la rivière Saskatchewan-Sud approvisionne environ 45 % de la population de la province en eau potable et est destinée à d'autres besoins municipaux, notamment aux résidents de trois grands centres urbains. Grâce à un mécanisme de dérivation à partir du lac Diefenbaker, en aval de la Qu'Appelle jusqu'au lac de Buffalo Pound, l'eau est transportée par conduite jusqu'aux villes de Regina et de Moose Jaw. La ville de Saskatoon et les collectivités environnantes puisent leurs eaux directement dans la Saskatchewan-Sud.

Plusieurs mines de potasse situées aussi loin qu'à Lanigan, à environ 150 km du lac Diefenbaker, sont alimentées en eau par un réseau de canaux et d'ouvrages de dérivation provenant du réservoir. De nombreux agriculteurs pratiquant l'irrigation produisent principalement des cultures de spécialité sur 40 000 ha autour du lac Diefenbaker et le long de la Saskatchewan-Sud et de la Qu'Appelle. La faune, les activités récréatives, la maîtrise des crues, la régulation du débit vers l'aval et la production d'énergie hydro-électrique reçoivent l'eau qui leur est nécessaire principalement grâce à la régularisation du niveau et du débit de l'eau.

L'un des défis particuliers de la gestion de l'eau revient à prévoir avec précision les débits entrant dans le lac Diefenbaker, ce qui suppose le débit horaire, quotidien, hebdomadaire, mensuel et saisonnier. Ces prévisions constituent la base de la planification de l'exploitation du réservoir pour répondre aux besoins de chaque utilisateur sans menacer d'autres intérêts ni les structures du barrage elles-mêmes.

*A. Banga, Saskatchewan Water*

souvent l'établissement de réseaux de distribution comportant

- des ouvrage d'adduction (canaux et chenaux naturels)
- des conduites et des stations de pompage
- des ouvrages de dérivation, notamment pour les transferts entre bassins.

Environ 150 000 étangs réservoirs ont été creusés dans les Prairies et 5 000 autres en Colombie-Britannique, principalement pour approvisionner les foyers ruraux et pour abreuver le bétail. En règle générale, les étangs réservoirs sont des étangs artificiels de 4 à 6 mètres de profondeur et de 2 000 à 6 000 mètres cubes de capacité pouvant assurer un approvisionnement en eau pendant deux ans compte tenu des pertes par évaporation et de la formation de glace. Il n'est normalement pas pratique de creuser des étangs plus grands, même si certaines régions connaissent fréquemment deux ou plusieurs années consécutives de précipitations faibles. Les pertes annuelles nettes par évaporation se situent en moyenne à environ 700 millimètres et sont souvent de loin la plus grande cause de ponction sur les réservoirs. La formation d'environ un mètre de glace au cours des mois d'hiver peut altérer la qualité de l'eau et entraîner des carences avant que la glace ne fonde au printemps et que le réservoir ne soit réalimenté par la fonte des neiges.

Plus de 21 500 réservoirs ont été construits dans les Prairies et en Colombie-Britannique. Ces réservoirs s'obtiennent par la construction de barrages en travers d'un cours d'eau ou sont construits comme bassins de stockage d'eau par dérivation à partir de cours d'eau adjacents. Le Manitoba, par exemple, exploite le Projet d'irrigation par les eaux excédentaires. On encourage, selon ce projet, les agriculteurs qui utilisent les eaux de cours d'eau entièrement alloués à construire des réservoirs de retenue hors du canal et à détourner l'eau excédentaire au cours de la période de l'écoulement printanier. La construction de barrages et de réservoirs s'accompagne toujours, du moins en partie, de certaines pertes de terres et de sites environnementaux.

La capacité d'emmagasiner d'un réservoir est normalement déterminée après l'analyse du bilan hydrologique fondé sur une suite représentative d'apports antérieurs et de toutes les demandes prévues, y compris les pertes par évaporation et la formation de glace. La satisfaction de certains besoins (p. ex. l'utilisation domestique) doit être prioritaire ou garantie, alors qu'il est possible dans d'autres cas de tolérer des raretés d'approvisionnements (p. ex. pour l'irrigation). Ces

demandes peuvent être satisfaites à moins que ne survienne une plus grave séquence de débits plus faibles que celui qui avait été considéré lors de l'évaluation du projet (*voir* l'étude de cas du bassin de Willow Creek).

Les sécheresses généralisées dans les Prairies au cours des années 1980 ont montré que bon nombre de sources d'approvisionnement individuelles et communautaires n'ont pu satisfaire aux demandes qui leur étaient imposées durant de longues périodes de sécheresse. Dans de nombreuses régions, la sécheresse a obligé à rationner l'eau, à procéder au pompage pour remplir les réservoirs et à forer de toute urgence des puits profonds. Plus récemment, des conduites d'eau rurales alimentées par des sources fiables ont été utilisées pour garantir l'approvisionnement des particuliers et des collectivités rurales (*voir* le chapitre 3).

Il faut un approvisionnement fiable en eau non seulement en quantité suffisante, mais aussi d'une certaine qualité. D'une façon générale, l'eau destinée aux utilisations domestiques et à la consommation humaine doit être de la plus grande qualité. L'eau utilisée en agriculture et dans les procédés industriels doit posséder certaines caractéristiques chimiques. Il faut souvent traiter l'eau pour parvenir à la qualité désirée. Dans certains cas, il peut être avantageux d'utiliser les sources d'eau souterraine pour remplacer l'alimentation par l'eau superficielle (*voir* l'encadré, p. 127).

## Alimentation d'une nappe souterraine

La nappe souterraine est réapprovisionnée par l'eau qui s'infiltre dans la zone de saturation également appelée nappe phréatique. Le rendement équilibré d'un aquifère est principalement contrôlé par la quantité d'eau d'alimentation qu'il reçoit. Si la quantité totale prélevée (émergence naturelle combinée au prélèvement pour des activités humaines) excède la réalimentation, les niveaux d'eau de l'aquifère diminueront. Cette diminution se poursuivra jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint entre le prélèvement total et la réalimentation ou jusqu'à ce que l'aquifère s'épuise au point que toute autre ponction devienne impossible.

Il n'est pas facile d'évaluer quantitativement le taux de réalimentation, car il dépend d'un certain nombre de variables dont

- le type de sol
- la géologie et l'hydrogéologie
- les précipitations (notamment leur quantité, leur type et la vitesse de fonte des neiges)
- les antécédents d'humidité du sol
- l'écoulement
- la topographie
- l'évapotranspiration.

Pour un climat donné, la réalimentation est plus élevée dans les zones de graviers et de sables grossiers que dans les sols argileux peu perméables (fig. 9-1). Moins de trois millimètres d'eau peuvent

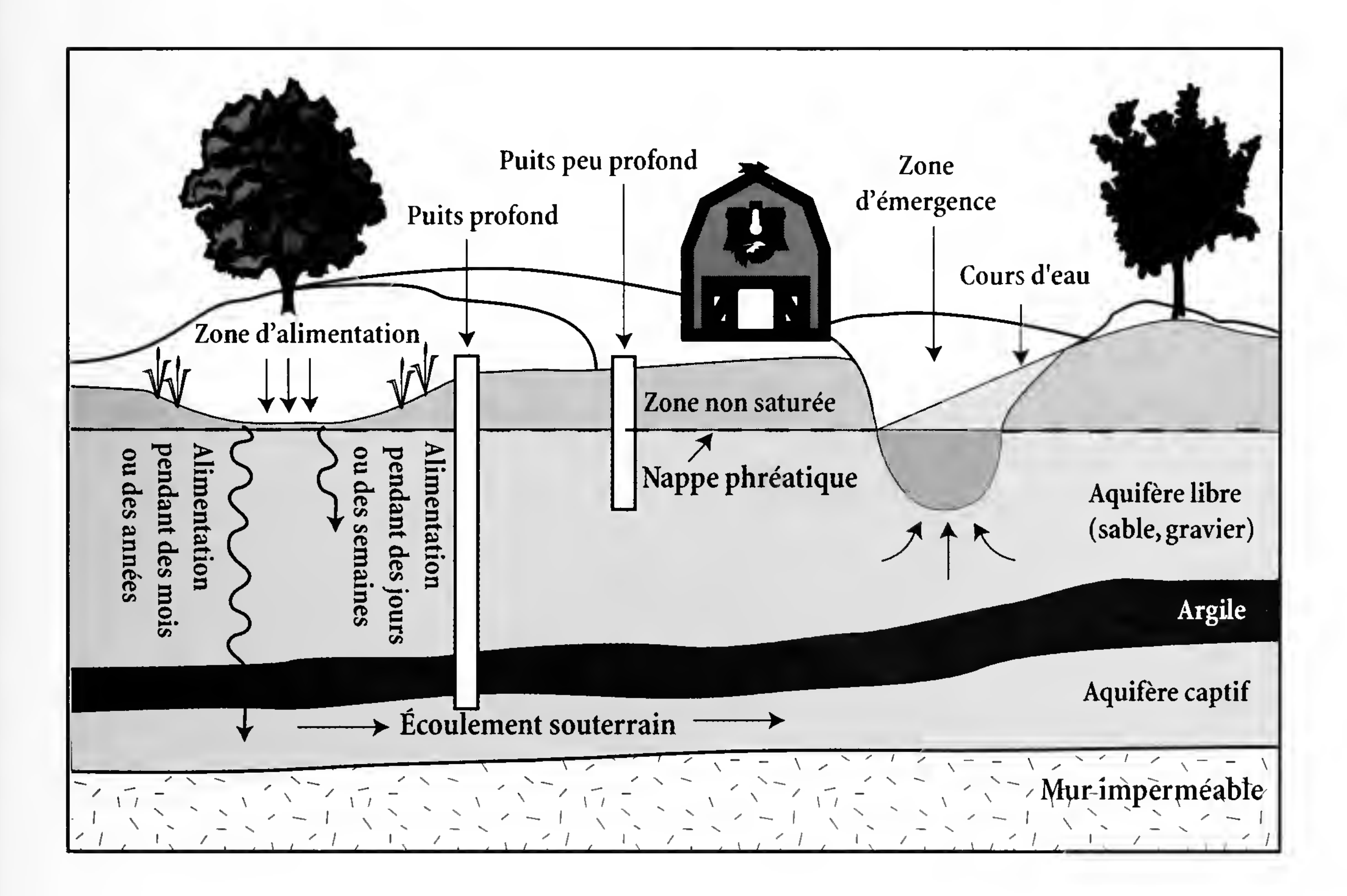



**Figure 9-1**
**Alimentation des aquifères**

## Étude de cas
## Irrigation du bassin de Willow Creek en Alberta

Le ruisseau Willow est un affluent de la rivière Oldman en Alberta qui trouve sa source dans le chaînon Livingstone et draine une région d'environ 2 500 kilomètres carrés. Le ruisseau est alimenté par la fonte des neiges et son débit annuel, quoiqu'extrêmement variable, s'est situé en moyenne à 128 000 décamètres cubes entre 1916 et 1993. Environ 75 % de l'écoulement annuel survient d'avril à juin et près de 60 % à un moment trop hâtif pour satisfaire aux besoins en irrigation.

Les terres de la partie supérieure du bassin servent principalement aux pâturages extensifs du bétail, les terres en altitude produisant du bois. Plus au sud, le bassin se divise en fermes d'élevage à l'ouest du ruisseau et en fermes d'aridoculture intensive à l'est. Lorsque les précipitations sont suffisantes, la zone agricole est l'une des plus productives de la province. Des projets d'irrigation ont été construits principalement dans la partie inférieure du bassin et puisent leur eau directement dans le ruisseau. On estime à 25 000 ha les superficies qui pourraient être irriguées par le ruisseau Willow, dont 10 5000 ha pourraient être mis en valeur par pompage direct du ruisseau si des dispositifs d'emmagasinement appropriés existaient.

Des travaux de planification réalisés en 1976 pour le bassin de la rivière Oldman ont permis de prévoir que la satisfaction de la demande de l'eau du ruisseau Willow par l'agriculture deviendrait difficile au milieu des années 1980. Lors d'une réunion publique en 1979, bon nombre de préoccupations ont été formulées concernant l'attribution des permis, les utilisations consommatrices et non consommatrices, la régularisation du débit, l'application des règlements, la répartition du débit et les débits minimaux. En 1983, 39 agriculteurs ont obtenu des permis d'utilisation pour 9 000 décamètres cubes d'eau et dans la plupart des cas, ces besoins ont été comblés. En raison des nombreuses nouvelles demandes de permis d'irrigation au milieu des années 1980, il est devenu manifeste qu'il fallait une meilleure information sur l'utilisation réelle de l'eau et sur la variabilité des demandes dans le bassin, de sorte qu'en 1986 un moratoire a été imposé à l'expansion de l'irrigation.

La première pénurie d'eau d'irrigation enregistrée est survenue en 1977 et a été suivie de huit années consécutives d'arrêts forcés de l'irrigation, de 1984 à 1992. Depuis 1992, les précipitations ont été élevées dans le bassin et il n'a fallu pratiquer *le contrôle de l'eau* (l'attribution de l'eau, habituellement selon la priorité de chaque utilisateur) que pour une courte période en 1998. Le moratoire a permis en quelque sorte de protéger l'approvisionnement déjà en baisse des utilisateurs existants. Cependant, en raison de la faiblesse des précipitations du milieu à la fin des années 1980, les titulaires de permis ont été forcés d'arrêter leurs opérations ou de partager l'alimentation en eau. En raison des arrêts forcés, les titulaires des nombres de priorité les plus récents n'ont pu obtenir intégralement la quantité d'eau qui leur était allouée. Même après l'imposition du moratoire, l'approvisionnement en eau dépendait encore de précipitations suffisantes. Pour assurer un approvisionnement assez fiable en eau pour l'irrigation, il faut recueillir les eaux de ruissellement du printemps et les emmagasiner en vue de la campagne d'irrigation.

Un nouvel ouvrage d'emmagasinement, d'une capacité de 50 500 décamètres cubes, est actuellement en construction dans le nord-est du bassin. Cette installation permettra

- de garantir davantage l'approvisionnement en eau des utilisateurs municipaux et domestiques actuels
- d'assurer un approvisionnement fiable aux utilisateurs pour l'abreuvement du bétail et l'irrigation
- d'étendre les superficies irriguées à 8 500 hectares
- d'augmenter les possibilités d'activités récréatives mettant l'eau à contribution
- d'accroître les possibilités de satisfaire aux besoins de l'utilisation consommatrice en aval du réservoir autant en matière de qualité que de quantité d'eau.

Le contrôle de l'eau est actuellement le seul outil efficace permettant de répartir un approvisionnement limité en eau. Lorsque le nouvel ouvrage d'emmagasinement entrera en fonction, on espère que les activités de contrôle s'imposeront moins souvent.

*E. Hui, Alberta Environnement*

### Alimentation en eau de la fertile Île-du-Prince-Édouard

L'Île-du-Prince-Édouard est dotée d'abondantes sources d'approvisionnement en eau, recevant environ 1 100 mm de précipitations réparties assez uniformément tout au long de l'année. Environ 40 % de cette eau retournent dans l'atmosphère sous l'effet de l'évapotranspiration; 25 % s'introduisent dans les cours d'eau et les étangs et 35 % servent à la réalimentation des eaux souterraines et pourraient par la suite aller accroître le débit de base des eaux superficielles.

La province dépend presque exclusivement des eaux souterraines pour l'approvisionnement domestique et industriel. Ces eaux sont d'excellente qualité et peuvent servir à la consommation humaine sans traitement. On pense que 2 % du réapprovisionnement annuel moyen sont utilisés par les foyers, l'industrie et l'agriculture. Cependant, dans certaines régions où la demande par les industries ou les municipalités est forte, les ponctions peuvent représenter jusqu'à 50 % du taux de réalimentation et l'on y décourage toute autre forme de prélèvement de l'eau souterraine.

L'Île-du-Prince-Édouard compte plus de 4 000 km de cours d'eau qui se mélangent à l'eau salée dans les estuaires. D'une façon générale, ces cours d'eau sont de faible longueur, étroits et peu profonds et entre 60 et 70 % de leurs eaux proviennent du sous-sol. Il existe peu de lacs ou d'étangs naturels d'eau douce, mais des centaines d'étangs artificiels. Les inondations sont rares, car les cours d'eau sont de faible longueur et les sols et la roche sous-jacente perméables.

Habituellement les précipitations suffisent au cours de la campagne de végétation, mais il est parfois nécessaire de pratiquer une irrigation d'appoint pour obtenir des rendements optimaux. Les eaux superficielles sont en général préférées pour l'irrigation en raison de leur coût plus faible que celui des eaux souterraines. Cependant, les eaux superficielles sont souvent surtaxées car elles sont limitées et parce qu'il faut protéger l'habitat des poissons en conservant une quantité minimale d'eau dans les cours d'eau à tout moment.

La province a énoncé une politique d'irrigation qui définit la façon de distribuer les ressources en eau disponibles entre les divers utilisateurs. Elle encourage l'extraction d'eau souterraine pour l'irrigation, en particulier là où les ressources en eau superficielle sont limitées ou fortement utilisées. Des puits d'irrigation doivent être évalués par des méthodes semblables à celles qui sont utilisées pour d'autres puits de forte capacité. Des essais de pompage doivent être réalisés et les effets possibles sur d'autres utilisateurs d'eau souterraine dans la région et sur l'environnement doivent être déterminés. Si les conditions du pompage proposées sont durables, le permis d'utilisation de l'eau souterraine est accordé.

Après plusieurs années de sécheresse entre le début et le milieu de la décennie 1990, la demande de puits d'irrigation a augmenté. Cependant, en raison des coûts seules les grandes exploitations agricoles ont adopté l'option des eaux souterraines. Environ 30 puits d'irrigation de grande capacité sont actuellement en opération dans la province. D'une façon générale, les puits pompent de 10 à 20 litres par seconde. Ces dernières années, seulement trois ou quatre demandes de puits d'irrigation additionnels ont été reçues chaque année.

Chaque année, on n'accorde qu'une quantité limitée de permis d'utilisation de l'eau superficielle pour l'irrigation, et les cours d'eau sont contrôlés pour vérifier que le débit ne tombe pas sous les niveaux nécessaires au maintien des habitats aquatiques. L'eau disponible (l'eau excédant le débit d'entretien) est répartie en portions de 30 litres par seconde et distribuée selon une liste de priorités du bassin versant dressée en tenant compte de divers facteurs, notamment les antécédents d'utilisation de la ressource et la date de la demande. En 1998, il y a eu 31 demandes d'attribution d'eau superficielle, dont seulement 24 ont été approuvées compte tenu de la disponibilité de l'eau.

*J. Mutch, ministère de la Technologie et de l'Environnement de l'Île-du-Prince-Édouard*

atteindre les aquifères à travers les sols argileux chaque année, peu importe la quantité des précipitations. En revanche, le taux de réalimentation annuel peut atteindre plusieurs centimètres dans les terres graveleuses non cultivées.

Les niveaux d'eau dans les aquifères peu profonds recouverts de matériaux perméables fluctuent selon la quantité d'eau d'alimentation reçue par saison et par année. De la sorte, ces aquifères sont très sensibles à la sécheresse et, dans certains cas, ils peuvent devenir des sources non fiables, en particulier lors de sécheresses de longue durée comme ce fut le cas à la fin des années 1980. Ces aquifères sont aussi plus vulnérables à la contamination que les aquifères plus profonds recouverts de dépôts peu perméables.

Sous les climats semi-arides, le déficit hydrique élimine souvent l'infiltration d'eau dans le sol. Dans ce cas, les dépressions peu profondes, ou marécages, sont une importante source de réalimentation en eau. D'autres points d'eau superficiels, en particulier

les terres humides et les cours d'eau peuvent aussi fournir d'importantes quantités d'eau de réalimentation aux nappes souterraines (lorsque la nappe phréatique est inférieure au niveau du cours d'eau, ce dernier fournira l'eau de réalimentation). Il existe une relation dynamique entre l'eau superficielle et l'eau souterraine —un lac ou un cours d'eau peut recharger une nappe souterraine lorsque le niveau des eaux superficielles est élevé, mais durant les périodes plus sèches, le gradient peut s'inverser et les eaux souterraines s'écouler vers un point d'eau en surface. Les débits augmentent à la suite de précipitations ou de la fonte des neiges, mais le débit de base durant les parties plus sèches de l'année dépend fréquemment de l'approvisionnement par les eaux souterraines. L'interaction des nappes souterraines et des lacs est moins étroite qu'entre ces nappes et les cours d'eau du fait que le fond de la plupart des lacs est constitué de matériau à grains plus fins moins perméables.

Bon nombre d'aquifères profonds sont rechargés uniquement par l'infiltration de l'eau à travers les matériaux de couverture. Bien que le réapprovisionnement puisse être lent, il est relativement constant, d'où une assez bonne stabilité des niveaux d'eau. Par exemple, dans un puits d'observation construit dans la vallée d'Estevan en Saskatchewan, la fluctuation maximale du niveau d'eau a été inférieure à 15 centimètres de 1965 jusqu'à la mise en place d'un grand projet de production d'eau souterraine qui a conduit à une baisse des niveaux d'eau en 1988. Ainsi, ces aquifères sont des sources fiables d'approvisionnement en eau qui sont relativement à l'abri des sécheresses. Cependant, comme les vitesses de réapprovisionnement peuvent être très faibles, le danger vient de ce que l'eau de ces aquifères peut être pompée bien au-delà des rendements équilibrés (*voir* l'encadré, p. 130).

Certaines instances augmentent artificiellement le taux de réapprovisionnement des eaux souterraines en pompant de l'eau vers un aquifère. Bien que cette méthode soit considérée comme un emmagasinement viable, elle peut s'accompagner de conséquences sur l'environnement, qui demeurent non résolues. D'une façon générale, il existe au Canada un besoin en information plus poussée sur les ressources en eau souterraine, sur les réseaux d'écoulement et sur leur utilisation.

## Eau recyclée

Les programmes d'utilisation d'eau recyclée (eaux usées traitées) peuvent être partie intégrante du plan de gestion des déchets liquides d'une région ainsi que d'une stratégie de conservation de l'eau. La réduction des quantités d'eaux usées déversées dans l'environnement grâce au traitement des effluents et à leur transformation en ressources réutilisables peut aider à régler les problèmes de déversement d'eaux usées et à obtenir de l'eau pour l'irrigation des cultures et des terres des régions déficitaires en eau (*voir* l'encadré, p. 129).

## Équilibre de la demande et de l'offre

Les Canadiens ont toujours considéré l'eau comme une ressource naturelle qui doit être gérée et contrôlée en vue de son utilisation par l'être humain. Pour satisfaire aux demandes grandissantes d'eau, nous avons excellé dans l'aménagement et la manipulation de nos sources d'approvisionnement en eau. Cependant, l'acceptation générale d'une philosophie de gestion de l'approvisionnement a contribué à une élévation des taux d'utilisation de l'eau, à la dégradation de la ressource et à une indifférence face à son rôle vital dans les écosystèmes.

Récemment, devant l'éventualité de pénuries d'eau, les préoccupations concernant la qualité de l'eau et l'augmentation des coûts, les responsables de la gestion de l'eau et la population canadienne ont commencé à admettre que la demande peut être infléchie par des changements de politiques et de comportement. Il n'est pas toujours nécessaire de trouver de nouvelles sources coûteuses. Cette approche, qualifiée de *gestion de la demande*, est un aspect déterminant de l'utilisation plus efficace de l'eau par la conservation (fig. 9-2).

L'efficacité d'utilisation repose sur le principe du « faire plus avec moins ». L'efficacité peut augmenter dans tous les secteurs, notamment en agriculture, dans le secteur municipal et domestique et dans l'industrie. Le chapitre 3 présente plusieurs exemples de plus grande efficacité de l'utilisation de l'eau en agriculture ainsi que de ses avantages comme la réduction de la production d'eaux usées et de la consommation d'énergie.

**Gestion de l'approvisionnement**
(approvisionnement croissant)

- Dérivation de l'eau
- Conduites
- Réservoirs
- Marécages et étangs-réservoirs
- Jachères
- Pompage d'eau souterrainne
- Réutilisation des eaux usées
- Réduction des pertes (par fuite et évaporation des systèmes d'approvisionnement par l'irrigation)

**Gestion des ressources en eau**

**Gestion de la demande**
(réduction de la demande)

- Systèmes d'irrigation plus efficaces
- Cultivars résistant à la sécheresse et rotations des cultures
- Systèmes plus efficaces d'abreuvement des animaux
- Comptage de l'eau et facturation
- Irrigation avec effluents
- Initiative de conservation de l'eau dans les foyers

**Figure 9-2**
**Modes de gestion des ressources en eau pour l'agriculture**

Le succès d'un programme de conservation de l'eau passe fondamentalement par une connaissance

- de la ressource elle-même (données de base et contrôle)
- du mode, des dates et des raisons de l'utilisation de l'eau (vérifications et comptage)
- du coût total de la distribution d'eau de qualité appropriée et de l'élimination des eaux usées
- de technologies, procédés et méthodes de remplacement efficaces
- d'attitudes et de valeurs associées à l'eau et à l'environnement.

L'éducation et la sensibilisation du public sont des outils nécessaires de la mise en oeuvre d'un programme de conservation de l'eau. Cependant, elles doivent peut-être complétées par des lois et des règlements provinciaux et fédéraux ainsi que par des mécanismes d'incitation et de dissuasion économiques, notamment l'établissement de tarifs à la consommation. L'étude du cas de l'Okanagan (p. 131) est une illustration de l'application des principes de gestion de la demande et de la conservation de l'eau à une région qui a connu de fortes demandes d'une ressource limitée par des utilisateurs concurrentiels.

## Utilisation d'eau recyclée à Vernon en Colombie-Britannique

À la fin des années 1960, l'étude fédérale–provinciale du bassin hydrographique de l'Okanagan, en Colombie-Britannique, a conclu que le phosphore provenant des usines de traitement des eaux usées déversant leurs effluents dans le lac Okanagan était une des principales causes de la prolifération de mauvaises herbes dans le lac. La ville de Vernon s'est lancée dans l'exécution d'un projet de récupération des eaux usées en les utilisant pour irriguer une ferme adjacente à la ville. Après un projet pilote de 6 ans, une application à grande échelle a été entreprise en 1977.

Depuis cette date, les terres irriguées se sont élargies continuellement pour absorber les quantités grandissantes d'eaux usées. Toute l'eau recyclée produite a été utilisée avec profit pour l'irrigation sauf dans trois cas où la capacité d'emmagasinement du réservoir a été dépassée.

L'eau recyclée est maintenant répandue sur 1 050 ha (2 600 acres) dans le sud de la ville. Environ 65 % des terres ont une vocation agricole, comme le pâturage et la production de foin; 15 % servent à des applications forestières comme pour des arbres semenciers, des pépinières et des peupleraies; le reste est consacré à des terrains de golf et de sport.

Le nouveau règlement municipal sur les eaux usées de la Colombie-Britannique, qui est entré en vigueur en juillet 1999, autorise l'élargissement de l'utilisation des eaux recyclées, moyennant un traitement approprié, une surveillance et l'application de normes de qualité. La prochaine étape consistera à utiliser l'eau recyclée dans des systèmes de distribution mixte dans les nouveaux secteurs résidentiels. L'eau recyclée sera acheminée par des conduites spécialement peintes en pourpre pour l'irrigation des pelouses et des jardins. Ce programme étendra la durée de vie des sources d'approvisionnement en eau potable actuelles.

*E. A. Jackson, ville de Vernon, Colombie-Britannique*

## Rabattement de l'aquifère de la Vallée d'Estevan en Saskatchewan

La centrale de Boundary, usine thermique située près d'Estevan, en Saskatchewan, produit un tiers de l'électricité de la province. Antérieurement, elle puisait son eau de refroidissement du réservoir de Boundary. À cause de la grande sécheresse de 1988, qui a été suivie de plusieurs années consécutives d'écoulement faible ou nul, l'eau du réservoir a atteint de très bas niveaux. Dans une tentative fructueuse d'éviter de réduire la production de la centrale, SaskPower a installé un réseau de puits de grande capacité dans l'aquifère de la Vallée d'Estevan pour compléter l'eau superficielle en provenance du réservoir. La production d'eau à partir de la Vallée d'Estevan a commencé en 1988 et a pris fin en 1994, avec une production annuelle de pointe de 4 900 dam3 en 1992. Au total, 21 340 dam3 avaient été soutirés de l'aquifère.

En 1992, le nouvelle centrale de Shand est entrée en opération. Cette centrale devait utiliser de l'eau du réservoir Rafferty récemment construit, mais les niveaux d'eau étaient trop bas pour alimenter la centrale. Une partie de l'eau issue de l'aquifère de la Vallée d'Estevan a donc été dirigée vers Shand. En raison de ces prélèvements, l'aquifère de la Vallée de l'Estevan a subi d'importants rabattements. Les hauteurs de rabattement ont atteint 45 m sous la zone des puits et un peu moins de 20 m à des distances allant jusqu'à 20 km.

L'analyse des niveaux d'eau dans l'aquifère depuis la fin du pompage montre que la durée du retour au niveau antérieur sera presque certainement de beaucoup supérieure à la période de production. Le retour sera lent en raison du faible taux de réapprovisionnement de l'aquifère. Durant les années 1960 et 1970, plusieurs estimations du rendement fondées sur des essais de pompage limités ainsi que sur la géologie et l'étendue de l'aquifère ont été pratiquées. Ces estimations vont de 13 000 à 20 000 dam3/a. Des essais et des analyses plus rigoureux de l'aquifère réalisés durant la décennie 1980 et au milieu de la décennie 1990 estiment les rendements soutenus de 4 000 à 6 000 dam3/a. Les taux de réapprovisionnement sont maintenant estimés de 1 à 3 mm/a et l'estimation du rendement soutenu a été abaissée de 2 400 à 2 800 dam3/a .Ce cas montre que les capacités de production des puits peuvent grandement excéder les taux de production durable des aquifères qui sont réapprovisionnés lentement.

*N.J. Shaheen, Saskatchewan Water*

## Conclusion

Malgré l'abondance des ressources en eau au Canada, les variations annuelles des précipitations semblent augmenter juste au moment où les approvisionnements en eau rurale sont utilisés à leur maximum. Les années de sécheresse ont entravé le réapprovisionnement des réservoirs, des étangs réservoirs et des aquifères souterrains. De nombreuses régions doivent se préoccuper de gérer à bon escient leurs ressources en eau pour veiller à ce qu'il y en ait suffisamment pour tous les utilisateurs régulièrement ou sur une période assez longue pour compenser les années de sécheresse. Anciennement, la gestion des ressources en eau portait surtout sur les approvisionnements. Dans les régions où ces ressources sont limitées ou non fiables, cette approche à elle seule ne permet pas de combler une demande sans cesse grandissante. L'école de pensée actuelle en matière de gestion de l'eau est qu'il faut exercer un contrôle là où cela aura une influence sur la demande.

L'application stricte des principes de gestion de la demande exercera des pressions sur les producteurs agricoles pour les inciter à utiliser l'eau plus judicieusement et à réintroduire l'eau non consommée dans le cycle sous une forme acceptable à d'autres utilisateurs. Certains outils de la gestion de la demande, comme le comptage et la facturation de l'eau, peuvent alourdir considérablement la charge des utilisateurs d'eau rurale, en particulier des agriculteurs, en période de difficultés financières. Cependant, si des mesures ne sont pas prises, l'effet des années de sécheresse deviendra intolérable.



*Efficacité du goutte-à-goutte en pomiculture*



*Compteur d'eau*

## Étude de cas

### Gestion de la demande pour conserver les sources d'approvisionnement en eau d'irrigation dans le district d'irrigation de Kelowna du Sud-Est en Colombie-Britannique

En été, une moyenne de 123 millions de litres d'eau sont consommés chaque jour dans le district d'irrigation de Kelowna Sud-Est dans la Vallée de l'Okanagan. De cette quantité, 95 % sont utilisés en agriculture pour irriguer environ 2 500 ha. Des prises domestiques, au nombre de 1400 environ, absorbent le reste de 5 % de l'eau utilisée. En 1995, le district a collaboré avec le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique à un projet pilote visant à réduire l'utilisation de l'eau en recourant au comptage universel et par l'établissement de calendriers d'irrigation.

On s'attendait à ce que le programme de comptage universel de l'eau permette d'économiser 20 % du volume total utilisé chaque année en sensibilisant davantage les cultivateurs et autres utilisateurs à la quantité qu'ils consommaient. Les économies pourraient contribuer à retarder ou à éviter la construction de nouvelles sources d'approvisionnement en eau ou à aider à la mise en valeur du district ou à l'expansion des terres agricoles irriguées. Des compteurs ont été achetés dans le cadre du Plan vert Canada–Colombie-Britannique pour l'agriculture (dans le cadre de son initiative de conservation de l'eau), et le district d'irrigation a terminé l'installation des compteurs en 1996.

Un projet de 5 ans sur l'établissement de calendriers d'irrigation constitue un volet d'importance du processus d'éducation de la population. Des programmes d'établissement de calendriers sont relativement peu coûteux et semblent représenter une méthode prometteuse d'optimiser l'utilisation de l'eau. Les dix producteurs qui participent au projet recourent aux mesures de l'eau du sol (à l'aide de dispositifs comme les tensiomètres) et à des données climatiques pour dresser leurs calendriers d'irrigation. Le contrôle de l'humidité réelle du sol permet à ces agriculteurs d'irriguer leurs terres uniquement lorsqu'elles en ont besoin, d'où une utilisation plus judicieuse de l'eau. Tous les cultivateurs du district, même ceux qui ne participent pas au projet, ont reçu des tensiomètres lorsque leurs compteurs ont été installés. Les systèmes d'irrigation fixe en couverture intégrale et les arroseurs manoeuvrables manuellement étant les principaux systèmes utilisés dans le district, il est possible de réaliser des économies additionnelles en passant des arroseurs aux systèmes d'irrigation plus efficaces au goutte-à-goutte ou par micro-aspersion.

Un système de rapport sur l'utilisation de l'eau constitue un autre élément du projet. Une banque de données stocke l'information sur les titres de propriété, l'utilisation des terres, le système d'irrigation, le type de sol et l'eau mesurée au compteur. Les données sur la consommation d'eau par chaque cultivateur sont obtenues par des lectures mensuelles du compteur. Un programme informatique calcule la consommation d'eau théorique pour chaque propriété, en utilisant les données climatiques et l'information sur le sol, la culture et le système d'irrigation de chacune. Un rapport comparant cette consommation théorique à l'utilisation réelle est envoyé tous les mois à chaque cultivateur. Ce rapport donne aux cultivateurs des données en temps voulu qui les aideront à établir leur calendrier. Le gestionnaire du district hydraulique peut aussi utiliser cette information pour orienter les programmes de gestion de la demande vers les secteurs où ils seront les plus efficaces.

*T.J. Nyval et T.W. Van der Gulik*
*Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique*

# 10. La gestion des surplus d'eau

*T.W. Van der Gulik, L.A. Christl, D.R. Coote, C.A. Madramootoo, T.J. Nyval et T.J.V. Sopuck*

**Points saillants**

- Un grand nombre de terres agricoles sont basses ou situées dans des plaines inondables et doivent être drainées pour être productives. Un bon drainage améliore le développement et la productivité des cultures, contribue à réduire la salinité et l'érosion du sol et ouvre aux agriculteurs un plus large choix de cultures, pendant une plus longue campagne de végétation, facteurs qui contribuent à réduire les coûts de production.
- Il existe deux types de système de drainage artificiel : le drainage superficiel et le drainage souterrain. Le drainage superficiel peut contribuer à l'altération de la qualité de l'eau des cours d'eau en entraînant vers ceux-ci des eaux renfermant des sédiments, des éléments nutritifs et des produits chimiques. Les systèmes de drainage souterrain libèrent des substances qui s'infiltrent à travers le sol comme les nitrates, les pesticides et les bactéries.
- Les systèmes de drainage peuvent aussi altérer l'environnement en asséchant les terres humides, en faisant disparaître des zones riveraines, en augmentant le ruissellement et en changeant l'hydrologie de la région. Certains de ces effets peuvent être atténués par une bonne conception et un bon entretien des systèmes de drainage, mais la disparition de zones riveraines et de terres humides est habituellement difficile et coûteuse à réparer.
- Les systèmes de drainage à la ferme ne peuvent recueillir les volumes immenses d'eau de pluie reçue des hautes terres mises en valeur. Pour protéger les basses terres agricoles, il faudra peut-être un bon système de drainage régional. Là encore, il n'est pas toujours possible d'éviter les dommages dus aux grandes crues.

## Introduction

Un sol et de l'eau dans des conditions optimales sont des éléments déterminants en agriculture. Les bonnes terres agricoles se retrouvent souvent dans les plaines inondables des rivières et des fleuves et dans d'autres régions où les limons et les argiles se sont déposés au cours des millénaires, de même que dans d'autres zones où les nappes phréatiques sont à faible profondeur. Ces régions sont sujettes à de fréquentes inondations ou *à la saturation du sol* en eau.

Grâce à la technologie du drainage, il a été possible d'aménager avec succès ces terres en vue de la production agricole au cours des 100 dernières années. Le défi des prochaines décennies consistera à maintenir une production agricole durable et profitable sur ces sols tout en concevant des systèmes de drainage respectueux de l'environnement et s'intégrant bien aux écosystèmes locaux.

Le présent chapitre porte sur les avantages du drainage des terres agricoles par les deux types de système artificiel (superficiel et souterrain) ainsi que sur les pratiques de gestion qui concourent à un bon drainage. Il porte également sur les effets du drainage sur la qualité de l'eau et, plus largement, sur l'environnement.

## L'intérêt du drainage des terres agricoles

Les végétaux ont besoin de cinq éléments principaux pour croître, notamment la lumière, l'air, la chaleur, les éléments nutritifs et l'eau. Ces éléments sont tous importants, mais la quantité d'eau dans le sol régularise la température du sol, l'assimilation de l'air et des éléments nutritifs et la quantité d'eau absorbable par la plante. Un bon drainage permet de

## Augmentation des rendements attribuable au drainage à Terre-Neuve

La nappe phréatique est souvent très près de la surface des sols à Terre-Neuve. Leur drainage a donc contribué à aménager de nouveaux champs et à améliorer la production végétale.

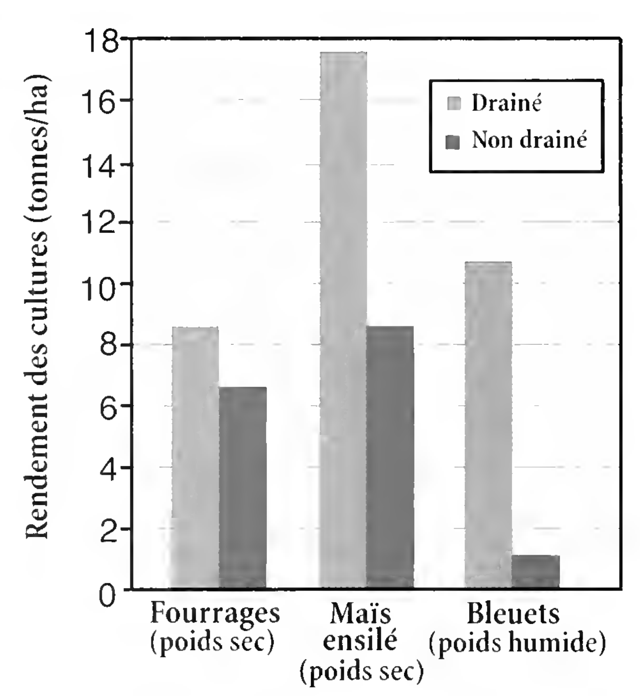
Bon nombre de systèmes de drainage ont été essayés à Terre-Neuve, notamment le drainage taupe sur les sols tourbeux et le drainage par fossé superficiel sur les sols minéraux avec nappe phréatique peu profonde. Une machine à poser des drains sans tranchées s'est révélée efficace même dans les sols pierreux de Terre-Neuve. Le drainage a amélioré les rendements en fourrages de 50 % en moyenne.

Malgré ces améliorations, l'intérêt du drainage n'est pas toujours reconnu, et les producteurs privilégient souvent le défrichage au drainage pour élargir leurs opérations. Jusqu'à une période récente, aucun service spécialisé de drainage souterrain n'était à la disposition de l'industrie agricole. Le nombre de producteurs intéressés par le drainage étant si faible, les entrepreneurs n'ont pas investi dans l'équipement spécialisé nécessaire à l'installation et à l'entretien des systèmes de drainage souterrains.

Un agriculteur a trouvé une façon très créative de drainer sa terre. Plusieurs de ses champs, dotés d'un sol minéral de faible épaisseur et de nappes phréatiques peu profondes, sont situés entre des marais. Les niveaux d'eau dans les marais sont habituellement aussi élevés, sinon plus élevés, que les périmètres et les têtes des champs. L'agriculteur a construit un réseau de fossés d'interception qui épouse les contours du champ. Il en découle des champs de formes irrégulières mais au rendement considérablement amélioré.

*G. L. Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada*

**Figure 10-1**
**Effet de l'amélioration du drainage sur le rendement des cultures**




Source : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique, 1997

garder ces facteurs aux niveaux optimaux assurant la croissance de la plante. De nombreux sols sont naturellement bien drainés. Le drainage artificiel a pour objet d'évacuer l'excès d'eau qui retarde la croissance des végétaux et réduit la productivité, mais de laisser suffisamment d'humidité pour la plante.

Un bon drainage des terres agricoles comporte de nombreux avantages, tant à la ferme qu'à l'extérieur. Il permet d'améliorer les rendements des cultures (fig. 10-1) et la valeur des récoltes et contribue à réduire le coût de production (*voir* l'encadré ci-contre). Il peut aussi concourir à la protection de l'environnement.

Lorsque le sol est saturé (c.-à-d. lorsque tous les pores de la rhizosphère sont remplis d'eau), il est facilement endommagé par le *compactage* et la *battance* attribuables aux machines agricoles. Le compactage conduit à la formation de flaques d'eau sur la surface du sol, qui peut entraîner un scellement superficiel et un encroûtement entravant la levée des semis. Lorsque les terres ne sont pas drainées, l'accès des machines aux champs peut être limité au cours des mois humides du printemps et de l'automne. Par ailleurs, les sols bien drainés permettent aux agriculteurs de travailler leurs champs plus tôt au printemps et de récolter leurs cultures plus tard à l'automne.

L'érosion du sol survient lorsque l'eau ne peut plus s'infiltrer dans le sol et commence à s'écouler en surface. La prévention de l'érosion est un aspect d'importance pour l'agriculture durable. Les sols bien drainés ont la capacité d'absorber les pluies et donc de réduire l'écoulement. Parmi les avantages pour l'environnement de la réduction de l'érosion grâce à un bon drainage, citons

- la réduction de la sédimentation dans les fossés, attribuable aux eaux de ruissellement
- une meilleure qualité de l'eau superficielle (parce que le drainage souterrain réduit l'écoulement superficiel qui peut renfermer de fortes concentrations d'engrais ou de pesticides fixés par le sol).

La *salinité*, qui caractérise un excès de sel dans le sol, peut aussi être diminuée par un drainage approprié. Elle est souvent causée par une irrigation excessive de sols semi-arides qui ne sont pas bien drainés. L'installation d'un drainage souterrain, combinée à de bonnes pratiques d'aménagement hydraulique, contribue à abaisser la nappe phréatique, ce qui réduit la salinisation et rend ces sols de nouveau aptes à la production (*voir* l'encadré, p. 136).

La plupart des cultures souffrent d'un excès d'eau dans le sol et d'une saturation prolongée des racines. La saturation du sol en eau peut réduire l'assimilabilité des éléments nutritifs des végétaux, de l'azote en particulier, et rendre la culture plus vulnérable aux maladies. Les plantes cultivées dans des sols bien drainés peuvent mieux résister à la sécheresse, aux maladies végétales et à la concurrence des mauvaises herbes. Elles sont également mieux aptes à absorber les éléments nutritifs, à faire un meilleur usage des engrais et ainsi à diminuer les quantités d'éléments nutritifs entraînés par lessivage et, partant, à protéger la qualité des eaux souterraines. Le drainage permet aussi d'élargir le choix de cultures dont disposent les agriculteurs, car une terre qui n'était antérieurement adaptée qu'aux cultures qui nécessitent une nappe phréatique peu profonde peut alors entretenir des cultures de plus grande valeur.

Un bon drainage autorise également la culture de plantes de couverture ou d'enfouissement au cours de l'hiver. Ces cultures protègent le sol de l'érosion, en améliorent la structure, la perméabilité et concourent à l'entretien de la faune.

## Terres nécessitant du drainage

Les terres qui sont humides pendant de longues périodes ne peuvent normalement pas être cultivées de façon rentable et, dans les cas extrêmes, elles peuvent ne pas l'être du tout. Le drainage de ces terres est un atout pour l'agriculteur. La justification économique du drainage dépend

- du type de végétal à cultiver
- de la complexité du système de drainage nécessaire
- de l'effet du drainage sur d'autres utilisations de la terre, par exemple comme habitat de la faune.

Il existe plusieurs indices visibles de la nécessité d'un drainage, notamment

- la présence de plantes hydrophiles (p. ex. roseaux, saules, carex, jonc et graminées) dans un champ, signe que la nappe phréatique est à faible profondeur au moins pour une partie de l'année
- l'eau stagnant à la surface de la terre
- le niveau élevé de l'eau dans les fossés et les criques voisins des champs
- la salinité du sol.

Un piètre développement des cultures, leur endommagement ou leur échec dans certaines parties d'un champ peuvent aussi être le signe de la nécessité d'un drainage.



*Drainage d'une infiltration saline*



*Le drainage imparfait nuit au travail du sol*



*Culture maraîchère sur sol organique égoutté*

## Drainage des sols organiques

Les *sols organiques* se sont développés au cours de longues périodes de saturation du sol durant lesquelles la matière organique s'est accumulée plus rapidement qu'elle ne s'est décomposée. Ces sols couvrent environ 90 millions d'hectares au Canada. Ils comprennent

- les mousses de sphaigne acides peu fertiles, comme celles qui sont emballées et destinées à l'usage dans les jardins et les serres
- les zones de sols noirs organiques très fertiles, prisés particulièrement par les horticulteurs.

Ces sols ne peuvent être cultivés sans une amélioration du drainage, car, au départ, le mauvais drainage est justement la principale raison de leur présence dans le paysage.

Le système de drainage des sols organiques combine habituellement des drains souterrains et des fossés ouverts. Souvent, des pompes sont utilisées pour amener l'eau à un cours d'eau ou un exutoire, car ces sols sont habituellement dans des dépressions où

**Drainage souterrain pour récupérer un sol salin en Saskatchewan en utilisant l'irrigation**

Le drainage souterrain en vue de récupérer un sol salin a commencé en 1986 sur un champ de 9 hectares au Saskatchewan Irrigation Diversification Centre. Un système d'irrigation a été utilisé pour appliquer des eaux de lessivage au cours de l'automne de chaque année, après la récolte, à partir de 1988. Les effets de ce lessivage sur les effluents de drainage et sur leur qualité ont été contrôlés. Les modifications de la salinité du sol ont été évaluées et des échantillons de sol prélevés.

Les résultats ont montré que de fortes quantités de sel étaient extraites par ces eaux de lessivage chaque année. D'après les résultats obtenus pour la couche supérieure de 0,75 mètre du profil du sol, il y a eu, dans la zone de sols moyennement et fortement salins, une réduction de la salinité de 62 % avant l'installation du drainage en 1986 à seulement 3 % en 1989, et peu de changements par la suite. Le rendement en grain s'est considérablement amélioré après l'installation du système de drainage et le lessivage à l'automne. En 1995, une récolte de haricots secs, sensibles au sel, a été obtenue sur cette terre sans aucun effet nocif. On en a conclu que la terre avait été reconquise avec succès.

*T.J. Hogg et L.C. Tollefson, Saskatchewan Irrigation Diversification Centre*

l'eau s'accumule et ne peut être évacuée naturellement. Il faut éviter de drainer ces sols de façon excessive, car alors ils s'oxyderont rapidement et se contracteront. Le rétrécissement conduit à la subsidence qui abaisse lentement la surface, ce qui, à son tour, aggrave le problème de drainage. Un drainage excessif peut entraîner la perte complète de sols organiques productifs. Il est possible de ralentir ce processus en recourant à des systèmes de drainage qui permettent de conserver la nappe phréatique près de la surface lorsque les cultures ne sont pas en période de croissance et que les machines ne sont pas utilisées dans les champs.

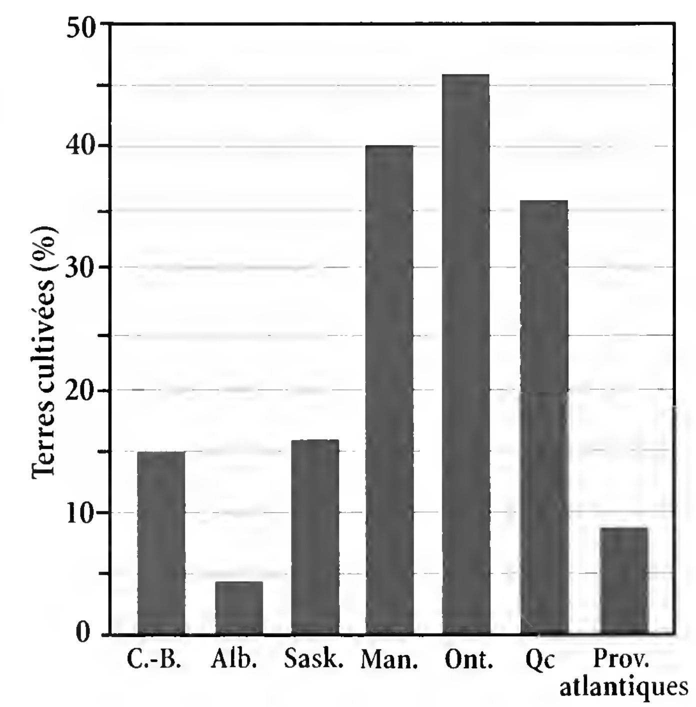



**Figure 10-2**
**Part des terres cultivées dont le drainage a été amélioré au Canada**

Source : Statistique Canada, 1986; Shady, 1989

Après des décennies ou des siècles, selon la profondeur initiale et le type de drainage utilisé, les sols organiques deviennent si minces qu'il n'est plus économique de les drainer et de les cultiver. D'après le type des matériaux qui leur sont sous-jacents, ils peuvent se transformer en zones de sols minéraux permanentes ou être abandonnés pour revenir à des terres humides naturelles.

Comme les composés organiques de ces sols sont sujets à la *minéralisation* par la culture, les eaux de drainage qui en sont évacuées sont souvent assez riches en éléments nutritifs, en particulier en azote et en phosphore. De plus, certains pesticides ne sont pas bien fixés par les sols organiques et peuvent plus facilement être lessivés que dans les sols minéraux. Ainsi, y a-t-il lieu de s'inquiéter de la qualité des cours d'eau et des lacs qui reçoivent de l'eau évacuée par drainage. Un autre sujet de préoccupation est la destruction d'habitats pour la faune lorsque ces terres humides sont défrichées et drainées (*voir* le chapitre 7).

## Systèmes de drainage

La conception et l'installation d'un bon système de drainage supposent la collecte d'information sur les sols, les cultures, le climat et la topographie. En agriculture, les systèmes de drainage sont souvent une combinaison de réseaux superficiels et souterrains. La figure 10-2 indique la part des terres cultivées du Canada soumises à un drainage artificiel, par province.

### Drainage superficiel

Les systèmes de drainage superficiel évacuent l'eau de la surface du sol, mais ne visent habituellement pas à abaisser la nappe phréatique dans le profil de sol. Dans certains cas, ce système à lui seul peut permettre la culture de la terre.

Les fossés ouverts peu profonds servent souvent à drainer les dépressions d'un champ qui recueille un écoulement superficiel. Les fossés peu profonds peuvent être utiles pour évacuer l'eau superficielle de vastes surfaces qui ont été l'objet de travaux de terrassement. Les fossés plus profonds sont employés pour intercepter les eaux de ruissellement et de suintement et les empêcher ainsi d'entrer dans l'exploitation. Les petits fossés évacuent normalement l'eau vers de plus gros canaux qui, à

leur tour, la conduisent vers les cours d'eau, les rivières, les fleuves et les lacs.

Le drainage superficiel offre plusieurs avantages. Son coût initial est faible, il permet de transporter de gros volumes d'eau, d'évacuer les eaux superficielles rapidement et est facile à construire. Cependant, il ne règle pas le problème de la saturation du sol causée par une nappe phréatique peu profonde. De plus, l'aménagement de fossés occasionne des pertes de terres arables et augmente la vulnérabilité à l'érosion. Les coûts d'entretien peuvent être très élevés.

### Drainage souterrain

Le drainage souterrain a pour objet d'améliorer la production végétale en abaissant la nappe phréatique. Des tuyaux perforés sont enfouis sous la surface du sol pour recueillir l'excès d'eau et l'amener vers un orifice de décharge par gravité ou par pompage. Les points de décharge des systèmes de drainage souterrain font souvent partie des systèmes de drainage régionaux qui recourent aux pompes, aux digues et aux fossés profonds. Les systèmes de drainage souterrain assurent un bon contrôle de la nappe phréatique et drainent uniformément une région. Cependant, leur installation est plus coûteuse que celle des systèmes superficiels.

Les drains souterrains peuvent aussi servir de drains d'interception pour capter le suintement à partir de l'écoulement souterrain, d'un écoulement latéral peu profond et de canaux non étanches. L'emplacement et la profondeur des drains d'interception en déterminent l'efficacité.

## Effets du drainage sur l'environnement

Le nombre de questions liées au drainage des terres allant en grandissant, il faut réorienter les pratiques d'aménagement hydraulique. Par exemple, les réserves d'eau souterraine diminuent : d'une part, parce que l'eau est prélevée en plus grande quantité des cours d'eau et des puits et, d'autre part, parce que la reconstitution de la réserve d'eau est entravée du fait de l'utilisation de terrains sous couvert végétal pour construire des édifices, y installer un revêtement et d'autres structures imperméables.

Le nombre d'orages de convection de forte intensité au cours des mois d'été pourrait augmenter en raison du changement climatique (*voir* le chapitre 11). Ces orages apportent la même quantité d'eau que les pluies de tout un mois, mais à un rythme qui laisse peu d'eau s'infiltrer dans le sol. De la sorte, des crues éclairs ou un écoulement intensif peuvent survenir dans des zones localisées.

Le drainage artificiel, s'il s'accompagne de nombreux avantages, contribue également à modifier l'environnement et parfois à l'altérer, notamment sous l'effet

- d'effluents de drainage de piètre qualité et d'eaux réceptrices contaminées dans certains cas
- de la dégradation des zones riveraines
- de la disparition de terres humides
- de modifications des trajectoires hydrologiques (mode de circulation de l'eau dans le paysage), qui peuvent augmenter l'écoulement total.

### Qualité de l'eau

L'hydrologie et les mécanismes de transport qui régissent le déplacement des polluants de sols drainés artificiellement sont complexes. L'hydrologie varie selon les conditions qui existent avant les améliorations par le drainage ainsi qu'en fonction de plusieurs autres facteurs comme

- l'aménagement des terres
- le type de drainage (superficiel ou souterrain)
- les pratiques de gestion
- les sols
- l'état des lieux
- le climat

Les effets du drainage des terres sur la qualité de l'eau ne se mesurent pas facilement. Cependant, certaines études ont montré que, comparativement aux conditions naturelles, le drainage des terres, associé à une modification du mode d'aménagement agricole, peut provoquer une augmentation de l'écoulement superficiel de pointe et des pertes de sédiments, d'éléments nutritifs et de produits agrochimiques. Cependant, d'autres travaux ont révélé que le drainage souterrain peut contribuer à réduire les inondations en aval.

**Systèmes superficiels**
L'eau s'écoulant à la surface du sol l'érode souvent et charrie avec elle les fines particules. L'azote et le phosphore organiques ainsi que certains pesticides restent liés à ces particules et sont amenés avec l'eau de drainage. C'est ce qui explique que l'eau des systèmes de drainage superficiel



*Pose de tuyaux d'évacuation*



*Sortie d'un tuyau de drainage*

- renferme de plus fortes quantités de sédiments, d'éléments nutritifs et de produits agrochimiques que l'eau des systèmes souterrains
- contribue davantage à la pollution des voies d'eau et à la détérioration des habitats aquatiques.

**Systèmes souterrains**

Bien que les systèmes de drainage souterrain améliorent habituellement la qualité de l'eau qui quitte les terres agricoles, ils peuvent contribuer à la pollution de l'eau en raison

- des gros volumes d'eau de drainage qu'ils transportent hors de la ferme vers les cours d'eau
- du lessivage des nitrates, en apportant de plus grandes quantités dans les eaux de drainage souterrain
- du lessivage de pesticides du sol vers les cours d'eau par les eaux de drainage.

**Tableau 10-1**
**Écoulement et perte de sol de terres en pente à drainage souterrain et non drainées à Matsqui, en Colombie-Britannique, 1983–1984**

| Moyenne (automne à printemps) | Drainées | Non drainées |
|---|---|---|
| Pluie (mm) | 1 625 | 1 625 |
| Ruissellement mesuré | 6 | 31 |
| % de pluie sous forme de ruissellement | 2 | 19 |
| Perte de sol (t/ha) | 0,1 | 26,7 |

Source : Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique, 1984

Le mode d'écoulement de l'eau vers les drains a un effet direct sur la distribution et la concentration des nitrates dans le profil de sol. L'écoulement préférentiel par les fissures, les gros pores et les *biopores* (p. ex. les trous creusés par les vers) peuvent être des voies importantes d'introduction de l'eau dans les systèmes de drainage souterrain. Il faut appliquer les meilleures pratiques de gestion pour réduire le plus possible l'effet de ces écoulements vers les systèmes de drainage. Par exemple, un travail uniforme ou le labourage de la surface du sol avant l'application d'amendements ou de produits antiparasitaires peuvent aider à obstruer ces passages, réduisant ainsi le risque d'entraînement direct d'éléments nutritifs ou de pesticides dans l'eau superficielle par l'entremise du système de drainage. Les méthodes et la date de l'application d'amendement, comme les engrais minéraux, de fumier animal, et de pesticides influent directement sur les concentrations de nitrate, d'ammonium, de phosphore et de bactéries dans les eaux de drainage.

**Sédiments**

Le mouvement des sédiments sous l'effet du drainage agricole est tributaire de facteurs comme

- le type d'amélioration du drainage
- la topographie du site
- le type de sol
- le mode d'aménagement des terres avant et après les améliorations du drainage
- les pratiques culturales.

Le consensus général supporté par la recherche internationale est que l'augmentation de la sédimentation qui suit le drainage artificiel est temporaire, et que la situation retourne à l'état antérieur au drainage une fois que le sol exposé est remis sous couvert végétal et stabilisé. Le déplacement des sédiments peut rester quelque peu supérieur en raison de plus gros débits de ruissellement superficiel après le drainage. Les systèmes de drainage souterrain peuvent réduire la sédimentation dans certaines conditions. Des projets réalisés à Matsqui, en Colombie-Britannique, ont montré que le drainage souterrain peut réduire le degré de sédimentation et la perte de sol (tableau 10-1).

**Éléments nutritifs et produits chimiques**

Comme après l'amélioration du drainage, la terre peut être exploitée plus intensivement, les éléments nutritifs et les produits chimiques sont souvent utilisés en plus grande quantité. À leur tour, les quantités de ces substances entraînées vers les systèmes de drainage et lessivées de la terre agricole vers le milieu environnant augmentent. L'azote des

nitrates est l'élément nutritif qui est entraîné le plus facilement.

Les exemples suivants de résultats de recherche indiquent les pertes d'éléments nutritifs et de produits chimiques dans les eaux de systèmes de drainage souterrain :

- Dans une étude réalisée au Québec en 1987, les concentrations d'azote dans les eaux de drainage provenant de champs de maïs et d'orge dépassaient 40 milligrammes par litre, à certaines dates d'échantillonnage au cours du printemps et de l'automne.
- Dans un travail réalisé en 1974 en Ontario, on a constaté que les effets combinés de la fertilisation et du drainage des terres augmentaient de quatre à cinq fois les pertes en phosphore et de 40 à 50 fois les pertes en nitrate par les sols noirs (organiques) cultivés comparativement aux sols non cultivés et non drainés.
- Une étude exécutée en 1974 au Québec a évalué que jusqu'à 3 % de la quantité totale d'atrazine appliquée sur des champs était entraînée vers les eaux de systèmes de drainage souterrain portant la concentration de cette molécule à plus de 27 microgrammes par litre dans des échantillons de la rivière Yamaska (la quantité recommandée pour les eaux potables au Canada est de 5 microgrammes par litre.
- Dans une étude réalisée en 1991 au Québec, des teneurs en métribuzine allant jusqu'à 3,5 microgrammes par litre ont été décelées dans des eaux de drainage souterrain de champs de pommes de terre (la quantité recommandée pour les eaux potables au Canada est de 80 microgrammes par litre).
- Des pesticides ont été décelés pendant de courtes périodes dans les eaux provenant de systèmes de drainage souterrain au Nouveau-Brunswick à des concentrations allant de 0,1 à 20 microgrammes par litre.

### Zones riveraines

Anciennement, les voies d'eau étaient aménagées selon un tracé rectiligne pour accélérer l'écoulement de l'eau en dehors du paysage agricole, ce qui a donné lieu à des terres agricoles fortement productives. Ce faisant, les effets sur les zones riveraines, les terres qui bordent immédiatement les cours d'eau, ont été énormes.

La taille et la configuration des canaux de drainage peuvent être telles qu'elles entraînent l'érosion des berges et la perte de la végétation associée. En règle générale, lorsque la vitesse de l'eau double, son pouvoir d'érosion quadruple et sa capacité de transport de sédiments est multipliée par 64. Les sédiments érodés se déposent par la suite dans les terres humides, les lacs ou les réservoirs de cours d'eau réduisant ainsi la capacité du canal et affectant l'habitat du poisson (*voir* le chapitre 7).

### Hydrologie

Hydrologie s'entend de la distribution et de la circulation de l'eau dans l'environnement, sur et sous la surface du sol et dans l'atmosphère. Des améliorations au système de drainage accompagnent habituellement des changements du mode d'aménagement des terres au profit de l'agriculture, de sorte qu'il est difficile de séparer les effets de ces deux facteurs sur l'hydrologie.

Dans certains cas, ces modifications ont entraîné une augmentation du ruissellement de pointe. À la fin des années 1970, on a étudié les effets du défrichage et du drainage de sols plats et mal drainés en vue de leur exploitation pour l'agriculture. Les résultats ont montré que l'aménagement agricole recourant uniquement au drainage superficiel augmente de 5 à 10 % la quantité d'eau évacuée annuellement. Le drainage souterrain peut augmenter ce volume annuel, mais peut aussi réduire de près de 20 % le volume de pointe au cours des orages (parce que le sol drainé a la capacité d'emmagasiner une partie de l'eau de pluie, ce qui réduit l'écoulement).

## Gestion du drainage

La gestion du drainage suppose tant une bonne conception des systèmes qu'un entretien approprié. Pour une bonne conception, il faut tenir compte de l'ensemble du bassin hydrographique, évaluer les effets de l'aménagement sur le déplacement et le volume de l'eau en jeu et tenir compte des besoins de l'agriculture et d'autres activités. Un bon régime d'entretien des systèmes de drainage agricole tient compte tant des besoins de l'exploitation que de la protection de l'environnement.

### Rôle des terres humides

La gestion des bassins hydrographiques s'est souvent faite sans tenir compte des avantages que

## Maîtrise des crues dans les terres basses de Serpentine-Nicomekl en Colombie-Britannique

Le bassin hydrographique de Serpentine–Nicomekl couvre environ 335 kilomètres carrés dans les municipalités de Surrey, Langley et Delta en Colombie-Britannique. Une vaste superficie basse (65 kilomètres carrés) de ce bassin est sujette aux inondations fréquentes en raison de sa faible altitude, de l'écoulement des eaux des terres élevées après des pluies fréquentes et de l'inefficacité du système d'endiguement actuel. Environ 65 % de ces terres basses sont exploitées et une portion supplémentaire de 6 %, en friche actuellement, pourrait l'être également. Le reste est construit d'ensembles résidentiels, de terrains de golf et d'installations récréatives ainsi que d'aires de service hors de la ferme.

Lors de l'arrivée des Européens, la région était inondée à marée haute. Les pionniers ont défriché la terre et construit des fossés pour évacuer l'eau et des levées et des digues ont été construites pour protéger la région des inondations à marée haute. Entretenu depuis le début du présent siècle par le district d'endiguement de Surrey, le système de digues s'est révélé inefficace contre les inondations. Il a fallu un nouveau système d'endiguement pour réduire la fréquence des inondations, afin d'assurer la sécurité du public, de réduire les dommages aux biens, d'améliorer l'habitat aquatique et la faune et d'améliorer les systèmes de drainage pour l'agriculture.

Un projet novateur a été conçu avec la collaboration de spécialistes en hydrotechnologie, en agriculture et en environnement ainsi que de divers intervenants. Le projet en deux phases comprend la fin de la construction de levées dans les parties de la Haute Serpentine et de Bear Creek, la rénovation de 22 kilomètres de digues existantes et l'installation de six stations de pompage pour améliorer le drainage interne, la construction d'un bassin d'élevage de poissons et l'aménagement de zones-tampons riveraines. Le coût de ce projet de 5 ans est estimé à 30 millions de dollars et sera assumé par les résidents de Surrey par l'entremise d'un prélèvement pour le drainage.

*J. Howery, Alliance Professional Services*

procurent les terres humides, et le drainage visant à améliorer les terres en vue de leur exploitation agricole a conduit à une importante perte des terres humides (*voir* le chapitre 7). Les terres humides sont un précieux élément hydrologique, biologique, chimique et physique d'un bassin hydrographique et sont nécessaires à la survie de nombreux écosystèmes. L'intégration des terres humides aux réseaux de drainage est une composante d'importance d'une gestion durable de l'eau d'un bassin.

La reconstitution de terres humides permet d'éliminer de 90 à 100 % des solides en suspension, de 90 à 100 % de la *demande biochimique d'oxygène* (*DBO*, une mesure de la teneur en matières organiques décomposables), de 65 à 100 % du phosphore total et de 80 à 90 % de l'azote total des eaux de ruissellement. Cependant, à certains moments de l'année, les terres humides peuvent redonner une partie des éléments nutritifs aux cours d'eau. Les bassins hydrographiques contenant de 5 à 10 % de terres humides peuvent assurer une réduction de 50 % de la période de crue comparativement aux bassins qui n'en possèdent pas.

Les terres humides peuvent contribuer à la conservation de l'eau d'un bassin hydrographique. Leur restauration demande des années, mais habituellement moins d'eau qu'on ne le pense souvent. Les spécialistes du drainage, dotés d'une expérience de la gestion des systèmes hydrologiques, ont un rôle clé à jouer dans le domaine naissant de l'incorporation de la restauration des terres humides aux méthodes de drainage des terres.

## Gestion des eaux pluviales

L'aménagement des infrastructures donne lieu à la création sur de vastes superficies d'une *couverture étanche*, comme les toitures et les revêtements de sol qui empêchent la pluie de pénétrer dans le sol. Avec l'aménagement des hautes terres et le déboisement des forêts, ces terres sont moins aptes à retenir l'eau de sorte que de plus gros volumes d'eau superficielle atteignent les terres basses. Cette augmentation du ruissellement accentue la pression sur les systèmes de drainage des terres basses qui ne sont pas conçus pour absorber un plus gros volume. Ces dernières années, les pluies ont augmenté en intensité, grossissant ainsi les quantités d'eau qui atteignent les terres agricoles basses. Comme l'agriculture est souvent conduite dans les terres basses et fertiles d'un bassin hydrographique, les exploitations sont de plus en plus affectées par ce ruissellement. Avec les inondations, les exploitations sont vulnérables aux pertes de cultures, de bêtes, de machines et de structures précieuses.

Les surfaces étanches continuent à s'étendre également dans les régions agricoles (p. ex. les étables, les parcs d'engraissement et les serres), limitant davantage la capacité d'absorption d'eau des sols. Les systèmes de drainage qui évacuent trop efficacement l'eau des bassins hydrographiques supérieurs contribuent à grossir l'écoulement en aval durant les périodes de crue. L'intensification des eaux superficielles accentue l'érosion de l'ensemble du bassin hydrographique et l'endommagement de structures municipales comme les aqueducs, les ponts et autres ouvrages de voirie. Dans les situations extrêmes, la menace s'étend aux populations et aux économies régionales.

Les agriculteurs ont la capacité de maîtriser la plupart des écoulements naturels vers leurs terres en utilisant des systèmes de drainage sur l'exploitation.

Cependant, ces systèmes ne peuvent absorber de gros volumes d'eau pluviale pas plus que l'on ne peut s'attendre à ce que les terres basses agricoles servent continuellement de bassins de rétention des eaux pluviales au moment des crues. Il faut souvent améliorer les systèmes de drainage régionaux dans ces situations (*voir* l'encadré, p. 140). Les systèmes régionaux ont la capacité de transporter de gros volumes d'eau et de la sorte de contribuer à la prévention des inondations. Ils sont habituellement construits de façon à prévenir les inondations saisonnières des terres agricoles. Cependant, il est souvent impossible de maîtriser les fortes crues comme le montrent les inondations des bassins de la rivière Rouge et du Mississipi en 1998.

## Entretien des systèmes de drainage

**Drainage superficiel**
Un entretien approprié et régulier peut garder les fossés de drainage en bon état. Un fossé obstrué par des mauvaises herbes, des buissons et des sédiments n'assurera pas un bon drainage. La prolifération incontrôlée de la végétation et les accumulations annuelles de débris de végétaux morts facilitent l'accumulation de sédiments. Lorsque les opérations de nettoyage sont en cours, des filtres à limon, comme des balles de paille ou des clôtures géotextiles, empêchent les sédiments de pénétrer dans les cours d'eau naturels. Si le canal sert d'habitat au poisson, le ministère des Pêches et des Océans ou encore les organismes environnementaux provinciaux doivent être avisés et leur autorisation demandée avant que les opérations d'entretien ne commencent.

Les excavateurs munis de godets spéciaux de nettoyage de fossés sont parmi les machines préférées pour curer les fossés. Les bouches des systèmes de drainage sont clairement indiquées avant que le nettoyage ne commence pour éviter d'endommager les orifices des drains souterrains. Le fait de nettoyer un seul côté des fossés laisse la végétation intacte sur le sol non travaillé, ce qui aide à limiter l'érosion.

La plupart des espèces de poissons ont besoin d'eau douce froide pour survivre. En laissant la végétation intacte ou en en plantant sur la rive sud des canaux de drainage, on crée de l'ombre qui contribue à maintenir la température de l'eau basse tout en laissant le côté nord libre pour les opérations d'entretien.

**Drainage souterrain**
Dans l'ensemble, un système de drainage souterrain bien installé nécessite peu d'entretien. Dans certains sols, de l'ocre (oxyde de fer) se forme dans les tuyaux de drainage, qui doivent donc être périodiquement curés à l'eau pour continuer à bien fonctionner. L'enlèvement régulier des dépôts de sédiments aux bouches de drainage ainsi que des arbres et des arbustes au voisinage des tuyaux de drainage empêche les racines et les sédiments de bloquer les tuyaux.

## Conclusion

Le drainage a autorisé la culture de nombreux sols fertiles au Canada. Bon nombre des terres agricoles les plus productives de la Colombie-Britannique, du sud de l'Ontario, du Québec et des provinces de l'Atlantique n'existeraient pas sans des ouvrages de drainage qui ont été construits depuis plus d'un siècle. Cependant, dans certains cas, le drainage a contribué à l'élimination d'habitats humides et parfois à une dégradation de la qualité de l'eau.

Il est possible d'améliorer la conception des systèmes de drainage pour réduire au minimum l'effet sur l'hydrologie et l'environnement. On peut aussi améliorer la gestion des engrais et des produits chimiques de façon à empêcher que les éléments nutritifs et les pesticides ne soient transportés dans le système de drainage. Dans certains cas, la remise des terres agricoles en zones humides peut être nécessaire pour reconstituer l'habitat et réduire les effets environnementaux des eaux de drainage.

La gestion du ruissellement printanier et des eaux pluviales constitue un problème régional. Les eaux de drainage des zones pavées et aménagées doivent être bien retenues ou canalisées loin des autres terres (p. ex. les terres agricoles, forestières ou récréatives). On semble oublier trop souvent l'eau de drainage une fois qu'elle quitte la zone drainée. Les utilisateurs des terres et des eaux en aval, la faune et le poisson ne devraient pas avoir à faire face à des débits grandissants d'eau de qualité incertaine. Il incombe à tous ceux qui gèrent ou modifient le drainage des eaux de tenir compte et de maîtriser les effets négatifs avant qu'ils ne se manifestent.

# 11. L'eau et les limites à la croissance rurale

*J.J. Miller, K.F.S.L. Bolton, R.C. de Loë, G.L. Fairchild, L.J. Gregorich, R.D. Kreutzwiser, N.D. MacAlpine, L. Ring et T.S. Veeman*

**Faits saillants**

- À mesure que les approvisionnements en eau diminueront, la compétition entre les utilisateurs pour l'obtention de cette ressource de base s'accentuera, ce qui pourrait dans certains cas donner lieu à des conflits. Les grands rivaux de l'agriculture en ce qui a trait aux prélèvements massifs de cette ressource sont les centrales d'énergie thermique, le secteur manufacturier et les municipalités. Pour bien gérer cette ressource, il faut d'abord gérer la demande plutôt que garantir l'offre.

- La disponibilité de l'eau limite l'essor de l'agriculture irriguée et de l'élevage à grande échelle dans l'Ouest du Canada. Là où il y en a, l'eau souterraine n'est pas toujours de qualité suffisante pour ces types d'agriculture. Les élevages intensifs de bestiaux posent également des problèmes sur le plan de l'environnement, surtout au chapitre de la gestion des fumiers.

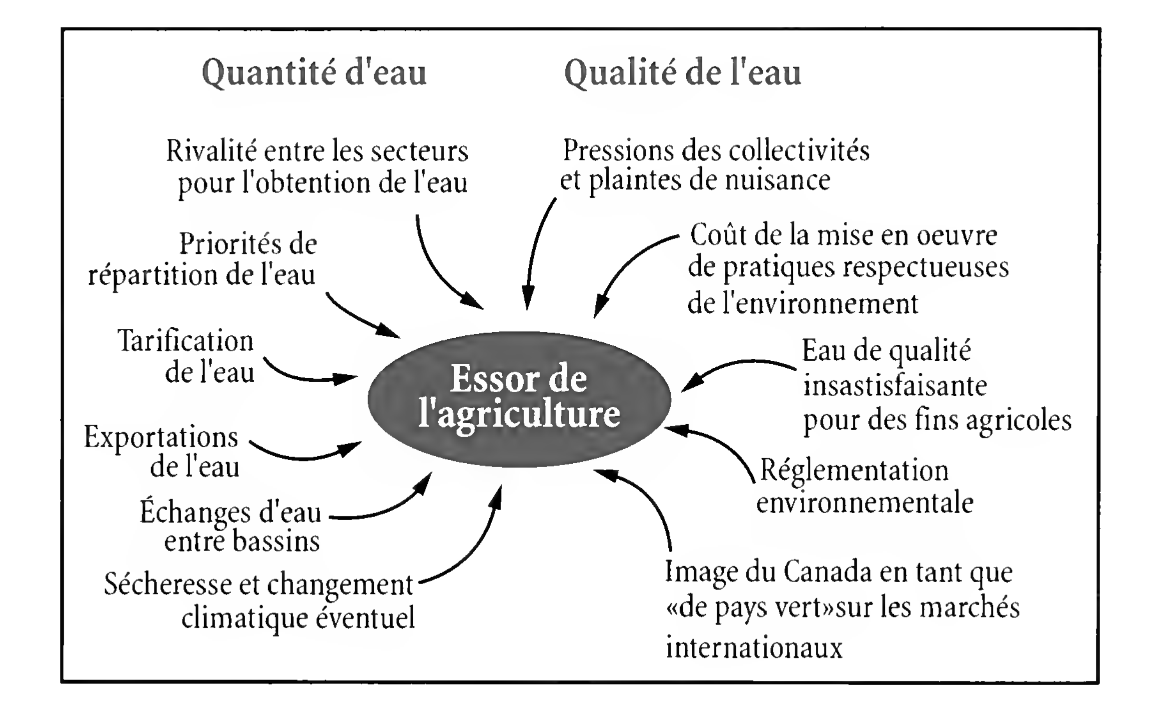
- La sécheresse limite la production agricole certaines années dans la partie semi-aride des Prairies et dans d'autres régions. Il se peut que les sécheresses soient plus fréquentes et plus graves à l'avenir à cause des changements climatiques causés par l'intensification de l'effet de serre.

- Les pratiques agricoles concourent aussi à réduire la qualité de l'eau, et la responsabilité environnementale est une question de plus en plus préoccupante pour les agriculteurs. Il se peut que les politiques économiques et environnementales visant à protéger la qualité de l'eau restreignent la croissance du secteur agricole, au moins à court terme, tant que des pratiques agricoles de conservation ne seront pas appliquées pour remédier à la situation. La réglementation a été le principal instrument de protection des ressources et les lois continuent d'imposer des limites dans de nombreux cas d'expansion rurale.

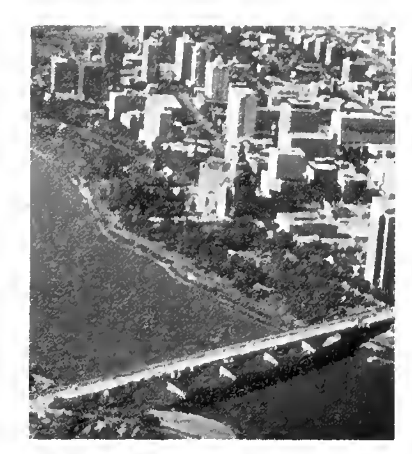
## Introduction

Il est possible que des facteurs liés autant à la qualité de l'eau qu'à sa quantité limitent à l'avenir la croissance rurale au Canada (fig. 11-1). En raison de l'immensité du territoire agricole et du fait que les agriculteurs sont eux-mêmes de gros consommateurs d'eau, le secteur agricole joue un rôle important dans la préservation des ressources en eau du pays. La croissance du secteur agricole, qui est grandement tributaire de ces ressources, posera un défi de taille. Pour le relever, il faudra bien gérer les exploitations agricoles et améliorer l'information sur l'agriculture et l'environnement. Dans le présent chapitre, on traite de certains aspects liés à la quantité et à la qualité de l'eau qui

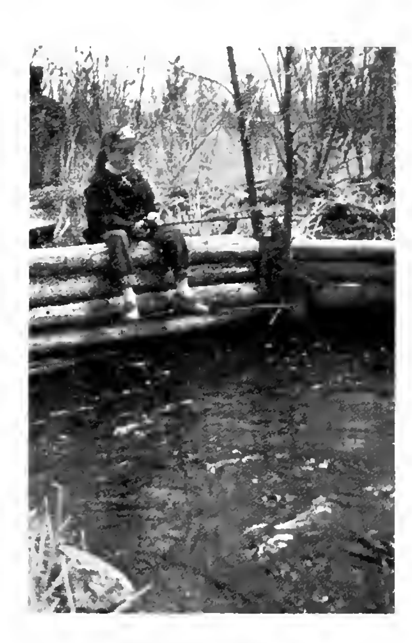
**Figure 11-1**
**Contraintes hydriques à l'essor de l'agriculture**



risquent de limiter la croissance future de l'agriculture et des autres projets de développement des régions rurales.



*Saskatoon : des villes qui se font la lutte pour l'eau*



*La pêche d'agrémemt*

## Partage de la ressource

### Utilisation de l'eau : les rivalités

La rivalité pour l'obtention de l'eau qui oppose les utilisations non consommatrices et les prélèvements va en augmentant et fait craindre que cette ressource ne se raréfie. L'utilisation de l'eau et la rivalité dont elle fait l'objet gravitent autour du jeu de l'offre et de la demande.

Il est maintenant clair qu'il est très coûteux sur le plan économique et environnemental de s'assurer de nouvelles sources d'approvisionnement en eau en vue de remédier à sa rareté. Les échanges d'eau à grande échelle entre bassins posent des problèmes juridiques, économiques et environnementaux. Il est en général bien meilleur marché de pallier la rareté de l'eau et la rivalité qu'elle suscite en gérant la demande plutôt que l'offre (*voir* le chapitre 9).

La gestion de la demande d'eau est la nouvelle façon par laquelle la société valorise cette ressource et en répartit l'utilisation. Parmi les moyens disponibles pour effectuer les changements nécessaires, citons les suivants :

- instaurer des mécanismes plus efficaces de tarification de l'eau
- réformer les régimes de droits relatifs à l'eau
- utiliser des outils technologiques pour gérer la demande.

Il conviendrait de majorer les prix pour tenir compte de la rareté et de la valeur croissantes de cette ressource et non simplement pour éponger les coûts de sa distribution . En réformant les régimes de droits relatifs à l'eau, on rendrait possible l'échange éventuel d'eau entre les utilisations de valeur peu élevée et très élevée; un aspect particulièrement préoccupant à cet égard est de satisfaire les besoins des utilisations non consommatrices d'eau. Enfin, les outils de gestion de la demande ont l'avantage d'être plus faciles à appliquer que la tarification et les droits relatifs à l'eau.

### Conflit avec les autres secteurs

L'agriculture n'est pas le seul secteur à consommer de l'eau; un grand nombre d'autres le font aussi (*voir* le chapitre 3). La répartition de l'eau sera à l'avenir une question importante étant donné que chacun de ces secteurs croîtra et que la demande d'eau tant en quantité qu'en qualité sera proportionnelle. Les conflits entre les secteurs dépendront des prélèvements d'eau et de la consommation qu'on en fera.

**Production d'énergie thermique**
Pour produire de l'énergie thermique, il faut beaucoup plus d'eau qu'en agriculture, ce qui n'empêche pas ce dernier secteur de consommer considérablement plus d'eau, surtout à cause de l'irrigation. La production d'un kilowatt-heure d'électricité dans les centrales à combustible fossile et dans les centrales nucléaires exige respectivement 140 et 205 litres d'eau. Il se peut qu'il y ait des conflits entre le secteur agricole et celui de la production d'énergie thermique si les centrales sont situées en territoire agricole.

**Secteur manufacturier**
Le secteur manufacturier prélève plus d'eau que l'agriculture, mais en consomme moins que cette dernière (*voir* le chapitre 3). Comme de nombreuses provinces cherchent à stimuler la transformation des produits agricoles (valeur ajoutée), il se peut que la rivalité pour l'obtention de l'eau s'avive entre les secteurs agricole et manufacturier. Par exemple, le gouvernement de l'Alberta lançait au secteur agroalimentaire à la fin de 1995 le défi de « hausser la valeur de ses activités de transformation à 20 milliards de dollars d'ici à 2005 ». Si elle est mal gérée, la croissance du secteur de la transformation pourrait susciter une concurrence plus féroce avec le secteur de l'agriculture primaire pour l'obtention des ressources en eau.

**Consommation d'eau des municipalités**
On prévoit que la population des municipalités et leur consommation d'eau s'accroîtront à l'unisson; il existe donc des risques de conflits avec un secteur agricole en plein essor dans les régions déficitaires en eau. Les petites et les grosses villes pourraient chercher à prendre l'eau dont ont besoin les agriculteurs, surtout dans les régions où l'on pratique l'irrigation. Il risque aussi d'y avoir des conflits si l'eau destinée aux municipalités est polluée par les activités agricoles.

**Pêche et faune**
Les plans d'eau douce du Canada sont le théâtre d'importantes activités de pêche commerciale et sportive. La pollution, par l'agriculture, des eaux à vocation halieutique pourrait être la source de conflits entre les secteurs de l'agriculture et des pêches et limiter la croissance du secteur agricole.

Les terres humides (marécages) sont un habitat important pour la sauvagine et d'autres espèces fauniques en milieu rural, notamment certaines espèces en danger de disparition. Pour la chasse et les activités économiques connexes, il est vital de préserver les zones humides. La demande de terres pour l'agriculture et l'aménagement foncier risque d'inciter les autorités à autoriser l'égouttement des terres humides et ainsi faire disparaître l'habitat de la sauvagine. Cette perte pourrait être une cause de conflits entre, d'une part, les organismes de développement rural et, d'autre part, ceux qui sont voués à la protection de la sauvagine (p. ex. Canards Illimités), les chasseurs et les écologistes.

## Répartition des ressources en eau

S'il est faible, le système de répartition de l'eau peut poser un grave problème aux utilisateurs des régions rurales, particulièrement aux agriculteurs, qui sont en général les plus gros consommateurs de cette ressource. Même le meilleur système ne peut assurer de l'eau à tous. Il peut toutefois permettre aux utilisateurs d'eau actuels ou éventuels de savoir à

### Limites des nappes souterraines en Ontario

Les conflits concernant les nappes souterraines en Ontario ont en général une dimension locale et sont de portée relativement restreinte et, jusqu'à récemment, la disponibilité de l'eau n'avait jamais été un facteur limitatif important pour l'activité économique. Toutefois, les ressources en eau sont de plus en plus agressées en milieu rural. On n'a pas évalué quels étaient les prélèvements d'eau des nappes souterraines pour la totalité des utilisations, mais l'on sait que les municipalités sont probablement les principaux consommateurs. Dans certaines municipalités qui puisent leur eau dans la nappe souterraine, les sources d'approvisionnement en cette ressource et le traitement des eaux usées deviennent des obstacles à la croissance démographique. L'agriculture est aussi un gros utilisateur d'eau et l'intensification des activités agricoles peut faire grimper de beaucoup la consommation d'eau souterraine à l'échelle locale. La consommation continue aussi de grossir dans un grand nombre d'autres secteurs (industriel, commercial et récréatif). Entre 1998 et 1999, par exemple, le volume d'eau dont on a autorisé le prélèvement dans la nappe souterraine pour l'embouteillage dans le Sud-Ouest de l'Ontario a presque quadruplé. Les poissons et d'autres organismes aquatiques sont également touchés par les disponibilités en eau souterraine; pendant les vagues de sécheresse, il arrive que la totalité de l'eau d'un grand nombre de cours d'eau du sud de cette province soit d'origine souterraine.

Malgré l'importance de l'eau souterraine, on prend souvent des décisions au sujet des prélèvements sans comprendre parfaitement la façon dont les ressources souterraines sont réparties dans le temps et l'espace, ni les liens entre l'eau souterraine et l'eau de surface. Une étude menée récemment dans 13 comtés du Sud-Ouest de l'Ontario révèle que les prélèvements à même la nappe souterraine à certains endroits risquent maintenant de dépasser l'alimentation naturelle de ces nappes. Les sécheresses relativement fréquentes, qui pourraient l'être encore davantage si le climat change, réduisent le taux d'alimentation des nappes tout en accroissant la demande pour l'irrigation et d'autres fins.

Dans le cadre d'une étude menée auprès des utilisateurs d'eau dans les campagnes du Sud de l'Ontario, on a demandé aux résidants de dire comment ils avaient fait face à la sécheresse de 1988 et des années subséquentes ou comment ils s'y étaient adaptés. Parmi les personnes interrogées, 35 % ont dit avoir souffert d'une certaine pénurie d'eau pendant cette période. Les réponses les plus couramment formulées en ce qui concerne l'adaptation étaient les suivantes :

- creuser de nouveaux puits
- irriguer les cultures
- approfondir les puits existants
- transporter par camion l'eau destinée à des fins ménagères.

Même si certains répondants ont affirmé avoir réduit leur consommation d'eau à l'extérieur et installé des dispositifs pour économiser l'eau, la plupart des gens se sont adaptés en trouvant de nouvelles sources d'alimentation en eau plutôt qu'en modifiant leur demande ou leurs habitudes de consommation. Il se peut qu'il ne soit pas valable en période de sécheresse de s'adapter en cherchant à accroître les réserves en eau plutôt qu'en conservant les sources existantes, surtout là où l'agriculture et d'autres utilisateurs se disputent l'eau disponible.

Ces tendances de l'offre et de la demande d'eau en milieu rural dénotent que la concurrence et les conflits s'accentuent entre les utilisateurs et que l'intégrité des écosystèmes aquatiques est de plus en plus menacée. Elles défient également la capacité du réseau de répartition de l'eau de l'Ontario, qui tient pour acquis des approvisionnements abondants et se fonde en grande partie sur les principes du droit coutumier (common law) en vue de répartir la ressource avec efficacité et équité.

*R.D. Kreutzwiser et R. de Loë, Université de Guelph*
*L.M. Wenger et L.D. Mortsch, Environnement Canada*

## Les changements climatiques et la consommation d'eau en agriculture

Si la planète se réchauffe réellement et si le climat du Canada évolue, la plupart des régions du pays devraient, selon les prévisions, recevoir davantage de précipitations. Il se peut toutefois que l'eau se fasse plus rare dans certaines régions puisque l'évaporation et la transpiration s'accentueront et que davantage d'eau s'évaporera dans l'atmosphère si les températures de l'air sont plus élevées, si les périodes sans glace ni gel sont plus longues et si les saisons de végétation allongent. Si les baisses importantes de débit des cours d'eau, des niveaux des nappes souterraines et des niveaux des lacs que laissent entrevoir les scénarios de changement climatique se concrétisent, la rivalité et les conflits au sujet de la répartition des ressources en eau s'intensifieront. Cette rivalité opposera les utilisateurs qui consomment et qui ne consomment pas, les utilisateurs en aval et en amont, les régions rurales et urbaines, les régions arides et non arides et les diverses entités politiques.

Voici des exemples de la façon dont le changement climatique pourrait toucher l'agriculture :

- Dans les régions méridionales du pays, le réchauffement des températures l'hiver pourrait faire que davantage de précipitations tombent sous forme de pluie plutôt que de neige, que la couverture de neige soit moins épaisse et que le moment de fonte de la neige et la quantité fondue au printemps changent, tout comme les réserves initiales d'eau du sol.
- L'alimentation des nappes souterraines et leurs niveaux devraient diminuer. Au départ, ce seront les aquifères peu profonds qui seront plus vulnérables, mais si l'alimentation reste faible pendant longtemps, les aquifères régionaux seront aussi touchés. Un grand nombre de puits tariront et deviendront inutilisables alors que d'autres seront moins productifs à cause du rabattement de la nappe. Moins d'eau provenant des nappes souterraines atteindra alors les plans d'eau comme les fosses-réservoirs des fermes, et le débit de base des cours d'eau fléchira.
- Si leur niveau est bas, les cours d'eau ne pourront plus absorber aussi bien les nutriments agricoles et les résidus de pesticides, et le réchauffement de la température de l'eau favorisera l'eutrophisation et l'appauvrissement en oxygène de l'eau.
- Les conditions météorologiques exceptionnelles comme les sécheresses et les inondations pourraient devenir plus courantes. Les précipitations de convection s'intensifieraient probablement, mais il pourrait y avoir plus de décalage entre les épisodes de pluie. Les précipitations risqueraient de devenir plus variables. Ce sont les Prairies et le Sud de l'Ontario qui seront le plus durement touchés par les pénuries d'eau, ce qui accroîtra la nécessité d'irriguer. Et le besoin d'irrigation pourrait atteindre son sommet à un moment où l'approvisionnement en eau diminue.
- Le réchauffement des températures pourrait accentuer le stress chez les bestiaux l'été et accroître leurs besoins en eau à un moment où cette ressource se fait plus rare; en outre, les pâturages pourraient se dessécher et la production d'aliments fourragers, diminuer.

*L.M. Wenger et L.D. Mortsch, Environnement Canada*

quoi s'en tenir en leur fournissant l'information dont ils ont besoin pour prendre des décisions éclairées en matière d'investissement. Par exemple, l'agriculteur sachant qu'il a peu de chance de recevoir une quantité suffisante d'eau pour ses besoins une année donnée sera peu enclin à investir des montants importants dans son infrastructure d'irrigation. En outre, les collectivités rurales apprenant qu'elles devront se contenter d'une certaine quantité d'eau seront peu portées à promouvoir le développement industriel ou certains types de développement résidentiel qui sont d'importants consommateurs d'eau.

La répartition des ressources en eau au Canada risque de devenir une question encore plus controversée et propice aux conflits à mesure que la rivalité pour l'obtention de sources d'approvisionnement en eau souterraine et en eau de surface s'intensifiera (*voir* l'encadré, p. 145). Cette concurrence s'avivera si les changements climatiques sont plus prononcés que prévu et si les craintes au sujet de la qualité de l'eau s'accentuent.

Si l'eau se raréfie, la nature du système de répartition pourrait avoir une forte incidence sur les utilisateurs (*voir* l'encadré, p. 10). La répartition pourrait se révéler particulièrement problématique dans les provinces appliquant les principes du droit coutumier (common law); même les régions dotées depuis longtemps de système de répartition prioritaire ne sont pas à l'abri de ces conflits. On demandera aux systèmes de répartition de l'eau de tenir compte des détenteurs actuels de permis et des nouveaux utilisateurs dans les régions où les ressources en eau sont déjà entièrement réparties.

## Problèmes agricoles

### Accroissement des superficies agricoles irriguées

C'est en Alberta que se trouvent la majorité des terres agricoles irriguées du pays. Les spécialistes s'entendent généralement pour dire que les superficies se prêtant à l'irrigation en Alberta équivalent à peu près au double de celles pouvant être desservies par l'eau actuellement disponible, mais cette donnée reste à être vérifiée. À l'heure actuelle, la plupart des 13 districts d'irrigation de la province ont atteint ou sont près d'atteindre leur limite de surfaces irriguées. Cette limite s'établit globalement à 534 200 ha et, en 1997, 518 000 ha figuraient déjà dans le rôle d'évaluation de ces

districts. L'accroissement des superficies irriguées est donc restreint.

La Direction générale de l'irrigation du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et du Développement rural de l'Alberta et l'Association des projets d'irrigation de l'Alberta (organisme-cadre constitué des 13 districts d'irrigation) collaborent avec l'Administration du rétablissement agricole des Prairies (Agriculture et Agroalimentaire Canada) à une étude de l'agriculture irriguée dans les districts d'irrigation. Cette vaste étude permettra aux intervenants de mieux définir les besoins en eau de l'agriculture irriguée et pourrait déboucher sur la révision des limites de superficies pour une partie ou la totalité des districts d'irrigation.

## L'essor du secteur de l'élevage dans l'ouest du pays

Le secteur de l'élevage est en plein essor dans l'ouest du pays. On prévoit que le secteur du porc pourrait doubler et même tripler de taille. L'expansion des élevages intensifs (dans lesquels un nombre élevé de bovins, de porcs ou de volailles est concentré sur une petite surface) dans les régions traditionnellement vouées à la céréaliculture pourrait être une source de conflit sur le double plan de la quantité et de la qualité de l'eau.

Les élevages intensifs (EI) sont de grands consommateurs d'eau, ce qui risque d'entraîner des rivalités avec d'autres utilisateurs, surtout dans les régions où l'approvisionnement en eau est déficitaire (*voir* l'encadré). En outre, les abondantes quantités de fumier produites par les EI pourraient, si elles sont mal gérées, polluer l'eau souterraine et de surface. On estime que la capacité de ces élevages de gérer leur fumier constitue le principal facteur limitatif de l'essor du secteur.

Les nappes souterraines sont en général la source d'alimentation en eau des EI situés en région aride ou à une distance trop grande des rivières ou des gros lacs pour que le pompage soit rentable. Dans les régions où l'on pratique l'irrigation, la plupart des EI sont alimentés en eau de surface acheminée par des canaux d'irrigation. Dans une grande partie du Canada, on estime à 90 % la proportion d'eau consommée par le secteur de l'élevage qui provient des nappes souterraines. En Colombie-Britannique, seulement 40 % de l'eau servant à l'abreuvement des bestiaux sont tirés de ces nappes.

### La sélection des emplacements pour les nouveaux élevages intensifs : l'exemple de l'Alberta

Les élevages intensifs (EI) sont de gros consommateurs d'eau. Ils ont besoin de cette ressource non seulement pour abreuver les animaux, mais aussi pour nettoyer les étables et les enclos, surtout dans les exploitations laitières et les élevages porcins. Ainsi, les EI ont d'énormes besoins en eau.

Le tableau suivant résume les besoins annuels en eau et les taux de pompage de l'eau de la nappe souterraine (demande de pointe et pompage continu avec stockage) qui ont cours dans les parcs de finition de bovins et dans les porcheries de naissage-finition de l'Alberta. Les gros élevages de cette province ont de la difficulté à trouver les quatre puits dont ils ont besoin pour tirer l'eau à des débits qui leur permettent de répondre à la demande de pointe. La plupart de ces exploitations emmagasinent l'eau pompée dans des étangs de ferme ou des réservoirs.

**Besoins annuels en eau et débits minimaux de pompage nécessaires aux EI en Alberta**

| Nombre d'animaux | Volume annuel autorisé[1] en décamètres cubes (acres-pieds) | Pompage nécessaire à la demande de pointe[2], en litres par seconde (gallons imp./min.) | Pompage continu avec stockage[2], en litres par seconde (gallons imp./min.) |
|---|---|---|---|
| 5 000 bouvillons | 99 (80) | 1,5 (20) | 0,5 (6) |
| 20 000 bouvillons | 333 (270) | 3,0 (40) | 1,6 (21) |
| Groupe de 500 truies | 37 (30) | 0,8 (11) | 0,2 (2) |
| Groupe de 2 000 truies | 136 (110) | 1,7 (22) | 0,5 (7) |

[1] Volume exigé par la Protection de l'environnement de l'Alberta (Service des permis de captage d'eau) en se fondant sur les critères de droits d'utilisation d'eau pour un bouvillon consommant 45 litres (10 gallons impériaux) d'eau par jour et un groupe de truies consommant 182 litres (40 gallons impériaux) d'eau par jour.

[2] Il faut pouvoir tirer l'eau de quatre puits à ce débit pour répondre aux demandes d'un parc d'engraissement et d'une porcherie où la consommation unitaire d'eau est de 27 litres (6 gallons impériaux) par jour par bouvillon et 91 litres (20 gallons impériaux) par jour par groupe de truies.

Les régions de la province où les nappes souterraines donnent les meilleurs rendements sont justement celles où la densité résidentielle en milieu rural est la plus élevée. Cependant, le problème des odeurs force les nouveaux élevages à s'implanter dans des zones où la densité résidentielle est moins élevée, mais où les ressources en eau souterraine risquent d'être plus limitées. Par conséquent, l'insuffisance d'eau qui a restreint le développement agricole par le passé dans ces régions moins développées est de nouveau à l'avant-scène des facteurs limitatifs. Dans une étude sur les possibilités d'implantation de nouveaux EI, on a cartographié la densité résidentielle en milieu rural et l'information existante sur les nappes souterraines. La carte tenait également compte de la capacité de chaque région de produire de l'ensilage pour la finition des bovins en parcs ainsi que des aspects du paysage local susceptibles d'influer sur les coûts de terrassement nécessaires à l'aménagement d'un parc d'engraissement. On a constaté que peu de cantons disposent de puits dont les débits sont capables de répondre aux besoins en eau d'un parc de finition de 20 000 sujets. Il en est de même, mais dans une moindre mesure, pour les EI plus petits.

*N.D. MacAlpine, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et du Développement rural de l'Alberta*

Même dans les régions où il existe des nappes souterraines, celles-ci pourraient ne pas convenir à cause des facteurs suivants :

- Les grosses exploitations pourraient avoir de la difficulté à trouver des puits qui les alimenteront en eau à un débit leur permettant de répondre à la demande de pointe (ce problème les oblige à stocker l'eau).
- Les régions où le débit en eau des nappes souterraines est très bon sont souvent celles où la densité démographique en milieu rural est la plus élevée; cette situation risque de limiter la possibilité d'établir de nouveaux EI (à cause des restrictions touchant les odeurs et des distances minimales d'éloignement exigées).
- La qualité de l'eau de certaines nappes souterraines ne convient pas à l'élevage (eau trop riche en sels), ce qui occasionne des pertes économiques au producteur et donne un produit de qualité inférieure au consommateur qui utilise quand même cette eau.

## Sécheresse et possibilité de changement climatique

La sécheresse semble frapper plus fréquemment certaines régions du Canada que d'autres. Elle cause des pénuries d'eau, ce qui avive la rivalité pour l'obtention de cette denrée entre les divers utilisateurs (*voir* le chapitre 9). Elle limite également la production agricole

- en ralentissant la croissance des cultures (à cause de l'épuisement des réserves en eau du sol)
- en rendant le sol vulnérable à l'érosion éolienne
- en limitant les disponibilités en eau, ce qui nuit aux productions animales.

Si le climat se réchauffe, il se peut qu'il y ait davantage de sécheresses à l'avenir et que celles-ci soient plus graves (*voir* le chapitre 9). Ce changement éventuel est une source de vive inquiétude en agriculture, surtout dans les régions déjà arides. Toutefois, une étude scientifique des sécheresses ayant sévi dans les Prairies a révélé que ce fléau ne frappe pas au hasard, mais est plutôt causé par certaines situations météorologiques identifiables. Si on parvient à mieux comprendre ces situations, on pourra mieux prédire les sécheresses et planifier l'utilisation des ressources en eau (*voir* le chapitre 9).

Le risque actuel de réchauffement de la planète et de nouveaux changements climatiques a d'autres répercussions graves sur l'agriculture canadienne, en ce qui a trait au cycle de l'eau. À l'aide de modèles de changement climatique, on peut prédire les effets qu'aurait le réchauffement de la planète sur la disponibilité et la qualité des ressources en eau (*voir* l'encadré, p.146). Il y aurait des changements notamment au chapitre de la pluviométrie, des réserves en eau du sol ainsi que de la fréquence et de la gravité des phénomènes météorologiques tels que les orages électriques et la grêle. Il pourrait également y avoir des changements hydrologiques dans les nappes souterraines, l'écoulement et les niveaux d'eau.

Les changements qu'entraînera le réchauffement de la planète ne sont pas tous défavorables, et leurs effets sur l'agriculture dépendront de la façon dont les agriculteurs et les décideurs du secteur et des administrations publiques s'y adapteront. Le secteur agricole dispose de divers moyens pour réagir aux changements climatiques; il peut notamment

- renverser la tendance à l'accumulation des gaz à effet de serre, par exemple en utilisant des tracteurs à plus faible consommation de carburant, en modifiant les aliments pour animaux de façon à minimiser les émissions de méthane, en conservant les ressources en terres et en sol, et en établissant les prix des aliments de façon à tenir compte des coûts de production, de conservation et de remise en état
- contrer l'incidence des changements climatiques, par exemple en pratiquant l'agriculture dans les régions agricoles utilisables du Nord, en produisant des produits de plus grande valeur, en implantant de nouvelles cultures et des cultivars à période végétative plus longue et en modifiant le mode de gestion des ressources en eau
- tirer parti des nouvelles possibilités, notamment des créneaux et de nouvelles cultures, et déménager des exploitations agricoles.

Pour sa part, l'État pourrait intervenir ainsi :

- poursuivre les recherches en cherchant, par exemple, à améliorer les technologies agricoles, à créer des variétés végétales résistantes à la chaleur et à la sécheresse et à suivre de près l'évolution des ressources en eau
- favoriser la sensibilisation aux mesures d'adaptation

- modifier les programmes de subventions de manière à mieux tenir compte des risques liés au climat
- dédommager les victimes de manques à produire et ceux qui éprouvent des difficultés à s'alimenter en eau.

## Mécanismes de contrôle de l'État

Les pouvoirs publics ont trouvé diverses façons de promouvoir les principes de conservation et, dans certains cas, de les imposer. Ces méthodes se rangent dans deux grandes catégories : les mécanismes *réglementaires* et les mécanismes d'encouragement (aussi appelés *instruments économiques*). Parmi les outils utilisés, citons la législation et la réglementation, qui exigent le respect de pratiques ou de normes prédéterminées ou interdisent certaines activités, ainsi que les programmes et les politiques qui encouragent et aident les agriculteurs à adopter des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Dans les deux cas, la production agricole peut être assujettie à certaines contraintes. L'opinion publique et le climat actuel de la réglementation tendent à rendre les pollueurs responsables de leurs activités. La responsabilité environnementale préoccupe de plus en plus les agriculteurs parce qu'elle fait obstacle à la disponibilité de capitaux, au financement de leurs activités et à une protection suffisante de la part des régimes d'assurance de l'environnement.

La réglementation a été le principal outil dont l'État s'est servi pour protéger l'environnement. La législation et la réglementation fédérales et provinciales ainsi que les règlements municipaux et les autres dispositions administratives des administrations locales (à savoir les districts et les municipalités) réglementent directement et indirectement la qualité de l'eau. Dans les cas où plus d'un palier de gouvernement a des compétences en matière environnementale, les exigences du palier inférieur doivent équivaloir à celles du palier supérieur ou les dépasser.

### Réglementation fédérale

Santé Canada applique la *Loi canadienne sur la santé* et est responsable des évaluations de risques pour la santé et, de concert avec les provinces, des *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*. On lance le processus visant à établir une recommandation sur l'eau potable lorsqu'on observe fréquemment la présence d'un contaminant dans l'eau, qu'on le soupçonne d'avoir des effets néfastes sur la santé ou qu'on le trouve en concentrations suffisamment élevées pour qu'il soit préoccupant. Une appréciation des risques pour la santé permet d'établir la concentration maximale acceptable du contaminant, qui est ensuite soumise à l'examen et à l'approbation des autorités. Dans certaines provinces, ces valeurs ont force de loi, mais dans la plupart d'entre elles, elles ne tiennent lieu que de recommandations ou d'objectifs à atteindre. Ce sont les provinces qui s'occupent des domaines de la recherche et du contrôle étant donné que l'eau potable est considérée comme une ressource naturelle régie par ces dernières.

Les eaux intérieures et les pêches sont du ressort des provinces. Toutefois, la *Loi* fédérale *sur les pêches* habilite le gouvernement fédéral à réglementer les poissons de mer et les espèces de poissons anadromes (poissons de mer qui remontent les fleuves pour y pondre) en milieu marin et en eau douce, et dans les plans d'eau qui chevauchent les frontières provinciales. La Loi protège les populations de poissons et leurs habitats contre la pollution, en empêchant que des substances nocives ne se déposent sur l'eau ou dans des cours d'eau où il y a des poissons. Parmi les substances nocives, figurent les matières solides en suspension, les engrais, le fumier, les combustibles et les pesticides. La Loi interdit également « la détérioration, la destruction ou la perturbation » de l'habitat du poisson qui, selon la définition de la Loi, englobe les « frayères, aires d'alevinage, de croissance et d'alimentation et routes migratoires dont dépend, directement ou indirectement, la survie des poissons ». Le ministère des Pêches et Océans doit approuver tout travail effectué à proximité des plans d'eau où se trouvent des poissons. Les contrevenants à la Loi s'exposent à de lourdes amendes ou à l'emprisonnement.

En vertu de la *Loi sur les océans*, qu'applique le ministère des Pêches et Océans, les écosystèmes estuariens, côtiers et marins sont protégés des effets néfastes des activités terrestres et marines, notamment de l'agriculture. La Loi autorise l'élaboration de lignes directrices sur la qualité du milieu marin, notamment sur la qualité de l'eau. Elle met en outre l'accent sur la gestion intégrée, prévoyant l'élaboration de plans de gestion qui visent à protéger les ressources écologiques ainsi que l'intégrité et la productivité des écosystèmes en collaboration avec les autres autorités fédérales responsables (p. ex. Agriculture et Agroalimentaire Canada) et les intervenants.

La *Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs* est le texte de loi qui permet au Canada d'exécuter l'entente qu'il a conclue avec les États-Unis au sujet de la protection des oiseaux migrateurs et de leurs habitats. Sous le régime de la Loi, il est interdit de disséminer toute substance, notamment des pesticides, qui est nocive aux oiseaux migrateurs dans les aires qu'ils fréquentent.

La *Loi sur les ressources en eau du Canada* permet au gouvernement fédéral de recueillir des données, de mener des recherches et de conclure des ententes de concertation avec les provinces en ce qui a trait à la planification globale des ressources en eau. Les activités menées sous le régime de cette loi peuvent notamment porter sur la qualité de l'eau.

La *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE)* est la principale loi fédérale qui protège l'environnement. En ce qui a trait aux ressources en eau, la *LCPE* confère au gouvernement fédéral le pouvoir d'établir et de mettre en application des règlements sur les substances toxiques, les combustibles et les nutriments contenus dans les produits de nettoyage. Elle habilite aussi le gouvernement fédéral à mener des recherches sur l'environnement, à élaborer des lignes directrices et des codes de pratiques et à conclure des ententes avec les provinces et les territoires. C'est Environnement Canada qui applique la *LCPE*, mais il collabore avec Santé Canada pour évaluer et gérer les risques inhérents aux substances toxiques. La Loi fait actuellement l'objet d'un examen et sera modifiée pour que la plus haute importance soit attachée à la prévention de la pollution. La nouvelle loi, qui devrait entrer en vigueur en mars 2000, exigera que l'on planifie la prévention de la pollution pour les substances déclarées toxiques aux termes de la *LCPE*, notamment les substances utilisées dans les exploitations agricoles. Elle élargit également les pouvoirs de réglementation, qui s'appliqueront dorénavant à toute source de nutriments (p. ex. les engrais) et aux émissions de gaz des véhicules, notamment du matériel agricole.

La *LCPE* ne vise toutefois pas les aspects des substances qui sont réglementés sous l'angle de la protection de l'environnement et de la santé humaine par d'autres lois fédérales. Par exemple, c'est l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire de Santé Canada qui applique la *Loi sur les produits antiparasitaires*, dont certains aspects des décisions en matière de réglementation et d'évaluation de la santé et de l'environnement ainsi que les aspects stratégiques (politiques) touchant les produits antiparasitaires. Dès qu'un pesticide est homologué par le fédéral, les provinces réglementent sa vente et son utilisation. Parmi les autres exemples, citons la *Loi relative aux aliments du bétail*, la *Loi sur les engrais*, la *Loi sur les semences*, la *Loi sur la protection des végétaux* et la *Loi sur la santé des animaux*, qu'applique l'Agence canadienne d'inspection des aliments et qui prévoient l'évaluation et la gestion des substances (notamment des produits issus de la biotechnologie) sous l'angle de l'innocuité pour l'environnement et la santé humaine; un grand nombre de ces substances sont utilisées et produites par l'agriculture.

La *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* exige que les autorités fédérales (notamment le ministre de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire Canada) effectuent une évaluation environnementale de tout projet ou activité proposée qu'elles financent ou mènent à bien. L'évaluation environnementale est un outil important qui permet d'examiner l'incidence que pourraient avoir sur l'environnement les projets proposés et de prendre des décisions éclairées sur la façon de procéder pour remédier aux préoccupations environnementales.

## Réglementation provinciale de la qualité de l'eau

Toutes les provinces régissent la qualité de l'eau par voie de législation et de réglementation. Celles-ci portent en général sur les aspects suivants :

- installations de traitement de l'eau et d'épuration des eaux usées
- creusage et aménagement de puits
- analyse de l'eau des puits et des sources d'approvisionnement en eau
- protection des bassins hydrographiques qui approvisionnent en eau potable
- modification des cours d'eau (notamment les rivières, les ruisseaux, les lacs et les étangs)
- élimination des déchets, notamment des résidus de récoltes et des déchets dangereux
- manutention, stockage et utilisation du fumier
- manutention, stockage et utilisation des pesticides
- aménagement et entretien des fosses septiques
- installations, entretien et enlèvement des réservoirs de stockage de produits pétroliers
- manutention et élimination des huiles usées
- procédures d'urgence en cas de déversement
- protection des marais ou des marécages
- drainage des terres
- évaluation de l'incidence des projets sur l'environnement.

*G.L. Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada*

La *Loi du Traité des eaux limitrophes internationales*, qu'applique le ministère des Affaires étrangères et du Commerce international est le texte législatif qui encadre le Traité des eaux limitrophes conclu entre le Canada et les États-Unis en 1909. Le Traité renferme un engagement général de ne pas polluer les eaux limitrophes et transfrontalières d'un côté de la frontière, afin de ne pas risquer de causer des préjudices à la santé des gens ou aux biens de l'autre côté de cette frontière. L'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs illustre bien la coopération qui anime le Canada et les États-Unis dans le cadre de ce traité.

La *Loi sur le transport des marchandises dangereuses* se rapporte aussi à la qualité de l'eau.

## Législation provinciale

Toutes les provinces appliquent des lois, habituellement dans le domaine de l'environnement ou des ressources en eau, en vue de protéger la qualité de l'eau. Ces lois s'appliquent en général aux domaines suivants : utilisation des terres, conservation des sols, eau potable, gestion de l'environnement, utilisation des pesticides, gestion des déchets, faune et habitats fauniques (*voir* l'encadré sur le type de contrôles couramment utilisés, p. 150).

## Municipalités

Les règlements municipaux visent souvent à minimiser les conflits entre les voisins. Les dispositions réglementaires susceptibles de restreindre la croissance de l'agriculture ont généralement trait à l'emplacement des nouvelles exploitations agricoles, surtout les élevages intensifs. Ces dernières années, dans certaines provinces, les municipalités ont aussi assumé des responsabilités à l'égard de l'eau potable.

## Contraintes réglementaires

Les textes législatifs et réglementaires précisent entre autres choses les types d'activités qui peuvent être pratiquées ou les technologies qui peuvent être utilisées. À titre d'exemples agricoles de ces dispositions, citons les restrictions visant l'utilisation des pesticides et les exigences ayant trait à la conception des bâtiments pour bestiaux. Ces textes renferment habituellement des dispositions au sujet de la pollution et prévoient des sanctions pour les contrevenants. Par exemple, les pollueurs de l'eau sont passibles d'une amende et de l'obligation de rembourser au moins une partie des coûts qu'occasionne la réparation des dégâts causés à l'environnement. L'incidence de l'agriculture sur l'environnement est cependant diffuse, et il a souvent été difficile pour les organismes d'exécution de remonter au producteur responsable. Il existe une solution de rechange à l'imposition d'amendes aux personnes qui causent des dégâts à l'environnement : exiger des éventuels pollueurs qu'ils déposent un cautionnement avant la production, caution qui sera confisquée si la lutte antipollution est inappropriée.

Dans certains cas, on établit des normes environnementales à une cadence trop rapide pour que certains agriculteurs ou groupements sectoriels puissent s'y adapter. Par exemple, l'essor du secteur porcin au Canada est aujourd'hui en grande partie limité par l'absence de technologies et de méthodes rentables pour l'épandage du fumier au sol (*voir* l'encadré, p. 150).

Dans d'autres cas, ce sont les protestations publiques concernant les facteurs de nuisance, dont les odeurs et la perception de pollution, qui ont entravé les pratiques agricoles et l'expansion d'un secteur. La plupart des provinces ont déjà légiféré (ou sont en voie de le faire ) sur les droits d'exploitation agricole en vue de protéger les agriculteurs contre les poursuites pour des motifs de nuisance. Les agriculteurs sont prémunis contre ces poursuites s'ils exploitent leurs élevages selon les *pratiques agricoles normales* que définit habituellement un code de pratiques. Dans un grand nombre de provinces, il y a des commissions formées de producteurs et d'autres experts qui enquêtent sur les plaintes concernant les nuisances et la pollution et qui transmettent les causes aux organismes de réglementation seulement si l'agriculteur ne prend pas les mesures correctives nécessaires (*voir* le chapitre 8). Cette façon conciliante d'envisager le respect de la réglementation permet à l'agriculteur d'éviter les amendes et les autres sanctions et confine l'application des recours réglementaires à ceux qui ne donnent pas suite aux recommandations de mesures correctives de leurs pairs.

## Le secteur porcin du Canada et les enjeux environnementaux

L'élevage des porcs au Canada rapporte 3 milliards de dollars de recettes à la production chaque année, et les exportations de porcs et de viande porcine représentent 8 % (1,5 milliard de dollars) de l'ensemble des exportations agroalimentaires. Ce secteur est appelé à connaître un essor étant donné que les marchés internationaux de ces produits continuent de grossir et que le Canada est très concurrentiel sur ce marché. De toutes les contraintes possibles à la croissance de ce secteur, ce sont les problèmes environnementaux qui, estime-t-on, sont les plus importants. Les municipalités rejettent ou mettent de côté pendant de longues périodes de plus en plus de demandes d'établissement de nouveaux élevages ou d'agrandissement d'exploitations existantes à cause des problèmes environnementaux qu'elles suscitent.

Les trois principaux problèmes que le secteur a à régler en matière d'environnement, qui ont tous trait à la gestion du fumier, sont les odeurs, la qualité des sols et de l'eau et la qualité de l'air. Le fumier porte atteinte à la qualité de l'eau lorsque le nitrate, le phosphore et d'autres substances éventuellement nocives qu'il contient atteignent la nappe souterraine, l'eau de drainage souterrain et les eaux de surface à cause d'un mauvais stockage du fumier, de déversements ou de méthodes inappropriées d'application du fumier dans les champs. En Ontario, en Colombie-Britannique et au Québec, la concentration en phosphore des sols où est épandu du fumier de porc est particulièrement préoccupante; par ailleurs, en Colombie-Britannique et au Québec, les agriculteurs ont constamment à relever le défi d'acquérir suffisamment de terres pour y épandre leur fumier dans le respect de l'environnement. Par exemple, au Québec, environ 3 000 éleveurs se trouvent dans cette situation et dans au moins six bassins hydrographiques, les taux d'azote et de phosphore dépassent d'un million de kilogrammes par année les besoins des cultures.

Conscient qu'il faut trouver des solutions à ces problèmes environnementaux pour que le secteur porcin tire parti de ses possibilités de croissance, le secteur et AAC (Agriculture et Agroalimentaire Canada) ont mis au point la Stratégie de gestion de l'environnement des élevages porcins (SGEEP), en vue de coordonner la lutte contre les problèmes environnementaux. Les projets exécutés dans le cadre de la SGEEP sont notamment les suivants :

- versement additionnel d'un million de dollars aux activités d'AAC qui visent à trouver des solutions techniques aux problèmes du secteur
- contribution d'un million de dollars du gouvernement fédéral (somme équivalente versée par le Conseil canadien du porc) en vue de mener des recherches, de mettre au point des technologies et d'améliorer les communications sur les problèmes environnementaux
- des ateliers État-secteur qui permettent d'établir les priorités de recherche et de coordonner les travaux
- la préparation d'une page Web intitulée « Manurenet » qui sert de base d'information nationale pour la prestation de conseils techniques et de services spécialisés en relations publiques en vue d'aider les agriculteurs et les municipalités à lutter contre les problèmes environnementaux
- amélioration des communications entre les divers paliers de gouvernement à propos de leurs travaux sur les solutions aux problèmes environnementaux.

*E.R. Pidgeon, Agriculture et Agroalimentaire Canada*



## Conclusion

Les gouvernements aiment souvent s'attaquer aux problèmes économiques des régions rurales en proposant des expansions dans divers secteurs : agricole, résidentiel et industriel. On présume habituellement que les obstacles matériels à la réalisation de ces objectifs sont peu nombreux. Il se peut toutefois que les utilisateurs d'eau accaparent déjà une grande partie de l'eau disponible dans les régions ciblées par ce développement. On manque souvent de données et d'information, surtout en ce qui a trait à la nappe souterraine. L'intensification de l'agriculture, la migration de citadins vers la campagne et l'essor du secteur de la transformation (valeur ajoutée) viendront accroître la demande d'eau et risquent de produire des déchets qui abaisseront la qualité de l'eau.

Le Canada est un pays qui semble jouir de ressources illimitées en eau. Cela n'est pas vrai, mais les Canadiens sont tellement vendus à cette idée qu'ils pensent rarement que l'eau pourrait limiter leurs projets. S'il n'existe pas d'eau là où ils veulent s'implanter, ils présument qu'on pourra leur en trouver; s'il y en a trop, ils pourront la laisser s'égoutter. En outre, beaucoup de gens sont optimistes quant à la capacité de l'ingéniosité humaine d'être à la hauteur de la tâche pour faire face aux changements susceptibles de découler du réchauffement du climat de la planète.

Le présent rapport démontre que les ressources en eau en milieu rural sont agressées à de nombreux égards et que cette situation touche presque toutes les régions du pays. Le développement rural est actuellement (et continuera de l'être) limité par un large éventail de problèmes liés à l'eau. Les aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eau doivent être au coeur de tous les travaux de planification dans les régions rurales. Ils méritent que les agriculteurs, les décideurs, les fonctionnaires, les promoteurs et la population en général s'y arrêtent avec soin.

# 12. En guise de conclusion

*C. De Kimpe, L.J. Gregorich et D.R. Coote*

## Introduction

Les problèmes de la quantité et de la qualité de l'eau sont manifestement des facteurs importants pour la continuité des activités agricoles et la protection de nos ressources naturelles. Dans ce document, nous avons analysé le rôle joué par l'agriculture dans ces deux grandes questions au Canada. Nous avons décrit l'utilisation de l'eau par le secteur agricole; abordé le concept pratique de la qualité de l'eau; traité de l'état des ressources hydriques, aussi bien les eaux de surface que les eaux souterraines; analysé les effets de l'agriculture sur les écosystèmes aquatiques; mentionné les mesures visant à assurer l'approvisionnement en eau et à protéger les ressources hydriques; et analysé les contraintes et les pressions que ces problèmes font peser sur l'expansion future du secteur agricole et d'autres activités rurales.

On pense souvent que le Canada dispose de réserves inépuisables d'eau douce grâce à l'abondance de ses ressources hydriques naturelles. Cependant, l'eau peut être rare ou de qualité douteuse pour de nombreux utilisateurs qui en dépendent. L'utilisation judicieuse de cette ressource précieuse garantira sa pérennité et sa qualité pour la production alimentaire et pour répondre aux besoins de populations et d'industries sans cesse plus nombreuses.

## Qu'advient-il de l'eau rurale?

### Quantité d'eau

L'agriculture est, et continuera d'être, le plus gros consommateur d'eau du Canada. En même temps que la demande d'eau augmente dans le secteur agricole, surtout pour l'irrigation, d'autres secteurs en exigent davantage eux aussi. La rivalité pour des réserves d'eaux épuisables, surtout dans les régions qui manquent d'eau comme les Prairies et l'intérieur de la Colombie-Britannique, a déjà donné lieu à des conflits entre utilisateurs. Il y a de fortes chances pour que cette situation s'aggrave à l'avenir, compte tenu de divers scénarios de changement climatique.

### Qualité de l'eau

Parmi les tendances qui caractérisent la qualité de l'eau dans ses rapports avec l'agriculture, mentionnons, une diminution générale des risques d'érosion des sols par l'eau et le vent qui se traduit par une baisse de la sédimentation provenant des sols agricoles dans les cours d'eau et les étendues d'eau. Si la sédimentation continue de baisser, il en ira de même du risque de contamination de l'eau par les substances que transportent les particules de sol, comme le phosphore, les pesticides et les bactéries. Cependant, la contamination des sédiments continue d'être un grave problème pour la qualité de l'eau à certains moments de l'année dans de nombreuses régions, particulièrement dans les Maritimes, où les cultures à grands interlignes poussent sur des terrains vallonnés dont les sols sont vulnérables à l'érosion.

Les nitrates associés aux activités agricoles sont présents dans pratiquement toutes les eaux souterraines des principales régions agricoles du Canada. Les concentrations de nitrates dans l'eau souterraine sont généralement inférieures à la recommandation sur la qualité des eaux potables au Canada, mais, dans certaines régions sous agriculture intensive, elles la dépassent. Avec les pratiques de gestion qui prédominent, l'azote résiduel s'accumule dans de nombreux sols agricoles soumis à une agriculture intensive (vallée inférieure du Fraser, basses terres des Grands Lacs et du Saint-Laurent). Le risque de contamination de l'eau par l'azote augmente dans ces régions. Dans certains secteurs des Prairies, les nitrates accumulés sous la rhizosphère risquent de filtrer dans les eaux souterraines si les conditions sont propices au lessivage.

On trouve fréquemment des pesticides dans l'eau souterraine et les eaux de surface des régions agricoles du Canada. Généralement, les concentrations sont nettement inférieures aux recommandations sur la qualité des eaux potables au Canada. Quant aux eaux de ruissellement, elles dépassent parfois les recommandations pour l'irrigation et pour la protection de la vie aquatique. La contamination par des pesticides qui ne sont plus utilisés au Canada baisse régulièrement, sauf là où ils se déposent par transport atmosphérique en provenance de pays qui les utilisent encore.

La contamination bactérienne des eaux de puits est généralisée. Elle est souvent associée à une mauvaise construction des puits. La contamination des eaux de surface résulte parfois du fumier qui s'écoule des systèmes d'entreposage ou qui est épandu contrairement aux règles élémentaires sur les terres agricoles. Il ne semble pas y avoir de rapport entre la contamination de l'eau par les métaux lourds et l'activité agricole.

### Écosystèmes aquatiques

Au fil des ans, le drainage et la pollution attribuables au développement rural ont altéré ou même détruit certains habitats aquatiques, notamment les terres humides. Ce phénomène commence à s'estomper à mesure que l'on adopte une approche écosystémique de l'agriculture. Certaines terres arables mal drainées et à rendement marginal sont soustraites à l'agriculture et remises à l'état de terres humides. L'état physique et la qualité de l'eau des cours d'eau et des fossés sont en voie de restauration pour créer des habitats utiles.

## À quoi doit-on ces changements?

L'agriculture est un gros utilisateur d'eau, en partie parce que l'eau a toujours été abondante et bon marché. Là où l'eau reste abondante, rien n'incite à l'utiliser de manière plus judicieuse. L'utilisation de pratiques culturales classiques (labour intensif, épandage de fumier sur la terre pour s'en débarrasser, abreuvement du bétail dans les cours d'eau et les terres humides, épandage de pesticides pour prévenir les mauvaises herbes ou les insectes, entre autres) a contribué à altérer la qualité des eaux souterraines et superficielles au Canada. Toutefois, le recours accru à des méthodes d'agriculture de conservation depuis 20 ans explique l'amélioration de la qualité de nombreux sols agricoles et des eaux sous-jacentes et avoisinantes. Mais cette amélioration n'est qu'un tout petit pas dans la bonne direction, car les eaux de régions où l'on pratique l'agriculture intensive sont toujours menacées par la contamination.

Au Canada, on note une tendance marquée vers des exploitations plus vastes mais moins nombreuses. Parallèlement à l'explosion démographique mondiale et à l'augmentation de la demande d'aliments et de fibres, les agriculteurs doivent produire de plus en plus d'aliments sur une superficie restreinte. Pour satisfaire à la demande, un nombre croissant d'exploitations se spécialisent dans l'élevage intensif, l'horticulture ou l'agriculture intensive. Cela signifie que des facteurs de production comme les éléments nutritifs et les pesticides de même que des extrants comme le fumier sont plus concentrés dans un plus petit secteur. Cette situation multiplie les risques de contamination de l'eau, à moins que ces substances ne soient gérées comme il le faut. On élabore actuellement des recommandations environnementales pour l'agriculture dans de nombreuses régions du pays pour faire face à cette situation. La réglementation du secteur agricole dépasse sans doute son aptitude à se plier à ces impératifs tout en restant concurrentielle.

## À quoi tient l'importance de ces changements?

Les tensions entre l'agriculture et d'autres utilisateurs d'eau rurale persisteront sans doute jusqu'à ce que l'on parvienne à un nouvel équilibre dans le jeu réciproque entre les produits agricoles de grande qualité et la protection de l'environnement que demande la société, et les réalités de l'agriculture dans la conjoncture économique mondiale d'aujourd'hui. Devant la possibilité de sécheresses périodiques dans les Prairies et certaines régions de l'Ontario, l'utilisation de l'eau devient un élément déterminant de la planification agricole. À plus grande échelle, face au risque d'un changement climatique et d'un réchauffement de la planète, il se peut que les quantités d'eau dans les régions agricoles du Canada changent à un point tel qu'il faille modifier maintes pratiques culturales.

Les agriculteurs sont attentifs aux signes généralement indépendants de leur volonté (conditions météorologiques et parasitaires, prix des produits et préférences de la société pour certains produits, pour ne nommer que ceux-ci). Pour ne pas s'effondrer financièrement dans la conjoncture éminemment concurrentielle d'aujourd'hui, ils doivent prendre des décisions à la mesure de leurs moyens en matière de production. En règle générale, les agriculteurs adoptent volontairement des méthodes de conservation lorsqu'elles contribuent à améliorer, ou, du moins, à ne pas entamer la situation économique de leur exploitation. Les labours de conservation en sont un exemple. À mesure que les instruments de travail réduit du sol deviennent plus facilement accessibles et plus abordables, un nombre croissant d'agriculteurs les adoptent, car ils aident à réduire le volume de travail et à protéger les sols. Dans d'autres cas, les méthodes et techniques nécessaires à la protection des ressources naturelles ne sont pas disponibles ou

coûtent trop cher pour l'agriculteur moyen. Il faut donc poursuivre les recherches pour élaborer de telles méthodes et les rendre pratiques et rentables pour les agriculteurs. Les avantages sociaux à protéger les ressources hydriques se solderont peut-être par des ententes de partage des coûts entre les groupes de protection de l'environnement, les gouvernements et les agriculteurs pour que les buts de la gérance des eaux deviennent accessibles.

Il faut également peaufiner l'éthique de conservation pour progresser davantage vers la durabilité des pratiques agricoles et des écosystèmes naturels. Il importe que le secteur agroalimentaire et d'autres utilisateurs du paysage rural évaluent comme il se doit le rôle de l'eau dans l'environnement naturel et que les droits de tous les utilisateurs soient respectés par les autres.

## Que fait-on pour résoudre ces questions?

La quantité d'eau continuera d'être un enjeu important dans les régions du Canada où les approvisionnements sont limités ou les activités de l'être humain se disputent cette ressource. L'importance accrue que l'on attache à la gestion de la demande plutôt qu'à la gestion de l'offre crée un climat propice aux recherches sur les technologies qui utilisent l'eau avec plus d'efficacité, notamment les systèmes d'irrigation perfectionnés. En même temps, le public est de plus en plus favorable aux compteurs d'eau et aux programmes de l'utilisateur-payeur. Ces programmes obligeront sans doute les agriculteurs à repenser les aspects économiques de leurs méthodes de gestion de l'eau. En termes agricoles, la gestion de la demande consiste à trouver des moyens d'utiliser l'eau existante plus efficacement, à pratiquer l'agriculture avec moins d'eau et à envisager l'idée de payer l'eau, qui a toujours été une ressource gratuite ou à tout le moins bon marché. Les conflits entre utilisateurs soulèvent également des questions sur la réforme des droits relatifs à l'eau et la modification des méthodes de répartition.

L'atténuation des effets de l'agriculture sur la qualité de l'eau résultera peut-être d'une éthique de conservation accrue chez les agriculteurs. En modifiant leurs pratiques culturales, ils pourront maintenir leur productivité en faisant courir moins de risques à l'environnement. De nombreuses initiatives de conservation, comme la planification environnementale de l'exploitation agricole, ont été prises par de nombreux agriculteurs concernés. On préconise davantage aujourd'hui les approches communautaires pour résoudre les problèmes liés à l'eau. Ces mesures permettent de réunir les intérêts des agriculteurs et d'autres utilisateurs de manière plus globale et de se polariser vers les plus grands avantages que confère l'eau de bonne qualité.

À mesure qu'on intensifie la lutte contre l'érosion agricole, les problèmes de qualité d'eau qui se rattachent à la sédimentation devraient s'atténuer. Le recours accru aux plans de gestion des éléments nutritifs aboutira à un meilleur équilibre entre les besoins des cultures et l'apport en éléments nutritifs, ce qui aura pour effet de réduire les risques que les éléments nutritifs ne contaminent les ressources hydriques. Là où l'on a découvert des concentrations de pesticides supérieures aux recommandations, l'épandage des pesticides en cause a été souvent limité volontairement par l'industrie ou réglementé par le gouvernement. Certains pesticides ont même été retirés du marché. D'autres méthodes de lutte antiparasitaire contribueront à atténuer encore davantage ces problèmes. De bons régimes de manutention, d'entreposage et d'épandage du fumier limiteront l'infiltration de bactéries et d'autres pathogènes dans l'eau souterraine et les eaux de surface.

Dans la conjoncture actuelle où les ressources sont limitées, le rôle des pouvoirs publics, qui consistait jusqu'ici à offrir des programmes de soutien, s'articule davantage autour d'un cadre qui doit permettre à l'industrie d'être plus compétitive sur le marché tout en assurant la protection de l'intérêt public. Dans le sillage de ce revirement, le rôle des pouvoirs publics dans les dossiers environnementaux liés à l'agriculture consiste davantage à préconiser des démarches facultatives, à promouvoir l'éducation et la sensibilisation, à recourir à des instruments économiques pour stimuler des changements positifs, à favoriser la recherche et le transfert de technologie, et à recourir à des lois et des règlements. Par exemple, les gouvernements mènent des recherches pour concevoir des pratiques de gestion agricole qui soient à la fois économiques et respectueuses de l'environnement. Grâce à des services d'information et au transfert de technologie, ils cherchent également à généraliser l'adoption de ces pratiques dans les exploitations agricoles canadiennes.

Les gouvernements reconnaissent la valeur et la nécessité d'une approche écosystémique des problèmes posés par l'eau. Cette démarche situe l'agriculture et ses nombreux paramètres et fonctions dans le contexte de l'environnement plus vaste. Pour favoriser l'utilisation judicieuse des

ressources, les actions engagées par les pouvoirs visent souvent des bassins hydrographiques précis ou des régions particulières où la quantité ou la qualité de l'eau sont préoccupantes. La surveillance régionale et le programme national d'indicateurs agroenvironnementaux servent à déterminer et à prioriser ces régions. Une plus forte dose de surveillance est souhaitable, mais les gouvernements ont tendance à réduire plutôt qu'à accroître leurs engagements à l'égard de ces programmes coûteux. En revanche, ils préfèrent mieux coordonner leurs efforts de surveillance avec les universités et d'autres organismes qui s'occupent activement de planifier les ressources hydriques. La poursuite de ces travaux dans le cadre de partenariats sera propice à l'intégration des efforts visant à assurer la durabilité de l'agriculture au Canada. Cela garantira le partage équitable des tâches et des coûts, l'utilisation optimale des résultats, en plus d'assurer que tous les intervenants pourront se faire entendre.



# Glossaire

**Agrégat** Particules de sable, de limon et d'argile du sol cimentées principalement par de la matière organique pour former une petite masse ou motte.

**Agriculture durable** Mode d'exploitation agricole qui protège l'aptitude à la production d'une terre dans le temps.

**Agrotourisme** Tourisme associé au plaisir du terroir; type d'**écotourisme**.

**Aquaculture** Élevage contrôlé en captivité de poissons, de crustacés et de coquillages ainsi que d'autres espèces aquatiques ayant une importance économique.

**Aquifère** Lit géologique, ou strate, suffisamment profond et poreux pour pouvoir fournir assez d'**eau souterraine** à un ou plusieurs puits ou sources.

**Aridoculture** Type de culture qui recourt uniquement aux précipitations naturelles et à l'humidité du sol pour satisfaire aux besoins en eau des cultures (c.-à-d. non irriguées).

**Atténuation** Dans le domaine de l'environnement, la réduction, la correction ou la réparation des dégâts causés par l'activité humaine.

**Atténuation des inondations** Diminution de la fréquence, de l'ampleur ou de la gravité des inondations.

**Augmentation de l'effet de serre** Effet de l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, entraînant l'emprisonnement d'une plus grande quantité du rayonnement terrestre et le risque d'un réchauffement planétaire.

**Azote** Élément nutritif clé des végétaux et polluant de l'eau sous formes solubles comme les nitrates.

**Azote résiduel** Quantité d'azote contenu dans le sol dépassant les besoins des cultures ou leur aptitude à l'assimiler.

**Bassin hydrographique** Terre, parfois sous couvert forestier, qui draine l'eau, la matière organique, les **éléments nutritifs** dissous et les **sédiments** vers un lac ou un cours d'eau; la frontière topographique est habituellement une ligne de faîte qui représente la ligne de partage des eaux de ruissellement superficiel en deux bassins différents.

**Battance** Mécanisme par lequel les sols argileux de texture fine tendent à former un gel lorsqu'ils sont humides et perturbés (p. ex. par le matériel de travail du sol).

**Benthos** Animal ou végétal vivant en association directe avec le matériau du fond d'un lac, d'un cours d'eau ou d'une mer, à une certaine profondeur.

**Bioaccumulation** Augmentation graduelle de la concentration d'une substance rémanente (p. ex. un pesticide organochloré ou un métal lourd) dans un organisme en croissance.

**Bioamplification** Augmentation cumulative de la concentration et de la toxicité d'une substance rémanente dans des niveaux trophiques ascendants de la chaîne alimentaire jusqu'à des valeurs biologiquement dangereuses.

**Biodiversité** (appelée également **diversité biologique**) Variété d'espèces et d'écosystèmes sur la terre et processus écologiques dont ils sont partie; comprend trois composantes : diversité d'un écosystème, diversité d'une espèce et diversité génétique.

**Biopore** Trou creusé dans le sol par la présence et le mouvement d'organismes du sol, comme les insectes et les vers de terre, ou par la décomposition des racines des plantes.

**Bourbier** Dépression peu profonde renfermant de l'eau pendant au moins une partie de l'année; se retrouve en général dans les Prairies.

**Brise-vent** Rangée d'arbres ou de buissons plantés perpendiculairement à la direction dominante du vent pour briser la force du vent.

**Capacité au champ** Quantité d'eau retenue par un sol qui, après avoir été détrempé, est drainé naturellement pendant quelques jours.

**Charge** Quantité totale d'une substance qui est transportée ou reçue par une eau au cours d'une période précise.

**Charge en élément nutritif** Quantité totale d'un **élément nutritif** transportée ou reçue par une eau au cours d'une période déterminée.

**Classe annuelle** Classe d'âge du poisson, par année.

**Code de pratique** Ensemble de lignes directrices auxquelles les producteurs peuvent adhérer pour être certains que leurs modes de gestion sont respectueux de l'environnement; est parfois intégré dans un règlement.

**Compactage** État d'un sol dont les particules sont pressées l'une contre l'autre, ce qui réduit les espaces libres entre elles.

**Concentration acceptable maximale fixée provisoirement par le Canada** Recommandation sur la qualité de l'eau établie temporairement en attendant les résultats de recherches plus poussées.

**Contamination ponctuelle** Contamination localisée de l'eau, comme par un déversement direct d'eau polluée dans un cours d'eau ou un lac ou des déversements accidentels de pesticides et des fuites de lisier vers des puits domestiques.

**Contamination non ponctuelle** Contamination de l'eau sur une surface étendue, habituellement lorsque des substances sont entraînées sur la surface du sol ou percolent à travers le profil de sol.

**Contrôle de reconnaissance** Contrôle par prélèvement périodique d'échantillon d'eau sur une vaste étendue et une longue période et détermination d'un large éventail de paramètres de qualité de l'eau.

**Contrôle objectif** Contrôle exercé en réponse à un problème connu, qui vise habituellement des produits chimiques précis et qui couvre une petite superficie pendant une durée limitée.

**Coulée** Versants escarpés, bordant un ruisseau ou une rivière.

**Cours d'eau** Masse d'eau en mouvement comme un crique, un ruisseau ou une rivière ou un fleuve.

**Couverture étanche** Revêtement qui empêche la pluie de s'infiltrer dans le sol, notamment les toitures et les revêtements de sol.

**Cultivar** Variété végétale génétiquement distincte, cultivée pour ses caractéristiques horticoles ou agricoles.

**Culture de couverture** Culture secondaire plantée après une culture primaire ou entre les rangs de cultures primaires pour doter le sol d'un couvert et, de la sorte, limiter l'**érosion** et le **lessivage** des éléments nutritifs.

**Culture en pente** Culture le long de la pente d'une colline (opposée à culture transversale à la pente).

**Culture intercalaire** Culture secondaire implantée avec la culture principale pour produire un meilleur couvert végétal, apporter des **éléments nutritifs**, maîtriser les ravageurs et conférer d'autres avantages à la production.

**Culture sans labour** (également **semis direct**) Méthode où la culture est ensemencée directement dans le sol à l'aide d'un semoir spécial, sans travail primaire ni secondaire du sol après la récolte de la culture précédente.

**Culture transversale** à la **pente** Culture perpendiculaire à la direction d'une pente pratiquée pour maîtriser l'**érosion**.

**Cyanobactérie** Groupe d'organismes associés aux bactéries véritables et appartenant à l'embranchement des monères; également appelée algue bleu-vert.

**Cycle de l'eau** *Voir* **cycle hydrologique**.

**Cycle hydrologique** (*également* **cycle de l'eau**) Cycle naturel mû par le soleil, comprenant l'**évapotranspiration**, la condensation, la **précipitation** et l'**écoulement** de l'eau; mouvement de l'eau entre l'atmosphère et les environnements terrestres et aquatiques.

**Débit de base** Débit d'un cours d'eau particulier à un moment de l'année où il n'y a ni pluie ni fonte des neiges; habituellement, la quantité d'**eau souterraine** déchargée dans un cours d'eau.

**Décomposition** Dégradation de matières organiques complexes en substances plus simples par des micro-organismes.

**Déficit hydrique** Différence entre les quantités totales de précipitations au cours de la campagne de végétation, combinées à la quantité d'eau qui peut être retenue par la rhizosphère dans le sol, et l'**évapotranspiration potentielle.**

**Demande biochimique d'oxygène** (DBO) Quantité d'oxygène de l'eau absorbée par les micro-organismes lors de la décomposition d'une substance.

**Dénitrification** Réduction des oxydes d'azote (habituellement des nitrates et des nitrites) libérant de l'azote moléculaire gazeux ou d'autres oxydes d'azote sous l'action des bactéries ou par des réactions chimiques dans lesquelles entre en jeu le nitrite.

**Diversité fonctionnelle** L'éventail intégral de fonctions ou d'activités écologiques assumées par des organismes et des écosystèmes.

**Drainage** Passage de l'eau sous l'effet de la gravité à travers les sols, les roches et d'autres substrats.

**Drainage de surface** Évacuation de l'eau d'une région par écoulement à la surface du sol; s'entend de systèmes naturels ou artificiels.

**Drainage par tuyau souterrain** Système de tuyaux perforés souterrains qui évacuent l'excès d'eau vers un collecteur fossé ou un cours d'eau; ces drains étaient initialement en terre cuite, aujourd'hui ils sont pour la plupart faits de plastique.

**Drainage souterrain** Évacuation de l'eau d'une région; s'entend de systèmes naturels ou artificiels.

**Eau absorbable** Eau retenue dans le sol et qui peut être absorbée par les plantes; se situe entre la **capacité au champ** et le **point de flétrissement permanent.**

**Eau des zones rurales** Eau douce utilisée pour l'agricultrue primaire et polluée par les activités qui en découlent.

**Eau dure** Eau à forte teneur en cations métalliques bivalents, principalement des bicarbonates et des sulfates de calcium et de magnésium, qui empêche le savon de mousser et qui forme une couche de tartre lorsqu'elle est chauffée (p. ex. dans les chaudières et les bouilloires).

**Eau souterraine** Eau subsuperficielle, dont la partie supérieure forme la **nappe phréatique** dans les matériaux géologiques comme les sols, les sédiments de sable et de gravier et les formations rocheuses; elle peut s'écouler librement par gravité ou sous l'effet d'une pression hydraulique.

**Écotourisme** Forme de tourisme axé sur la promotion de l'environnement naturel et de ses attraits écologiques.

**Écoulement** Partie des **précipitations** et de la neige fondue qui atteint les cours d'eau en s'écoulant sur ou à travers la surface du sol. L'**écoulement de surface** chemine au dessus de la surface du sol sans y pénétrer. L'écoulement souterrain rejoint les cours d'eau en s'infiltrant à travers le sol.

**Écoulement de surface** Eau s'écoulant sur la surface d'une terre.

**Effet additif** Somme des effets distincts de deux ou plusieurs substances qui s'ajoutent à un système (p. ex., l'addition de produits chimiques à l'eau).

**Effet synergique** Interaction de deux ou plusieurs substances ou processus biotiques ou abiotiques dont l'effet net est supérieur à la somme des effets individuels de chaque substance ou processus.

**Élément nutritif** Substance nécessaire à la croissance et au développement appropriés d'un organisme; les principaux éléments nutritifs des végétaux sont l'azote, le phosphore et le potassium.

**Élevage intensif** Élevage à grande échelle effectué sur un terrain relativement restreint.

**Engrais** Substance qui fournit des éléments nutritifs aux végétaux, comme les engrais minéraux, le fumier animal, l'engrais vert et le compost.

**Engrais minéral** Formulation commerciale d'**éléments nutritifs** des végétaux (p. ex. l'azote, le **phosphore** et le potassium) appliquée pour stimuler la croissance.

**Engrais vert** Végétal encore vert enfoui dans le sol, à titre d'engrais ou d'amendement naturel.

**Entre bassins** Entre bassins fluviaux, en particulier lorsqu'il s'agit de dérivation de l'eau.

**Épuiser** Utiliser l'eau d'une façon qui ne permet pas qu'elle retourne à sa source (p. ex. lorsqu'elle est fixée dans les tissus végétaux ou animaux ou évaporée).

**Érosion** Transport du sol d'un point à un autre, sous l'effet principalement du vent et de l'eau, mais aussi du travail du sol.

**Érosion éolienne** Déplacement du sol par le vent.

**Érosion hydrique** Entraînement du sol par l'eau cheminant sur sa surface.

**Érosion par le travail du sol** Déplacement du sol sous l'effet du travail.

**Espèce indicatrice** Espèce étroitement liée à un environnement particulier ou à un type d'habitat de sorte que sa présence ou son absence sert d'indication sur l'état du milieu.

**Étang-réservoir** Étang artificiel, d'ordinaire de quatre à six mètres de profondeur et de 2 000 à 6 000 mètres cubes de capacité, constituant un réservoir d'eau pour deux ans, étant tenu compte des pertes par évaporation et de la formation de glace.

**État d'ameublissement** État physique du sol en ce qui a trait à sa facilité de travail et à ses qualités comme lit d'ensemencement.

**Eutrophisation** Enrichissement naturel ou artificiel d'une eau en **éléments nutritifs** (particulièrement en phosphore et en azote) donnant lieu à une trop forte productivité pour que les phénomènes d'autoépuration naturelle puissent jouer; les conséquences indésirables sont la prolifération d'algues, la baisse de la concentration en oxygène et une réduction du taux de survie de certains poissons et de certaines espèces invertébrées.

**Évapotranspiration** Mouvement de l'eau vers l'atmosphère par l'évaporation du sol et transpiration par les plantes.

**Évapotranspiration potentielle** Quantité maximale d'eau transpirée par les végétaux dans des conditions idéales, associée à l'évaporation inévitable du sol.

**Fertilité du sol** Mesure de la quantité d'éléments nutritifs dans le sol qui servira à la croissance des plantes.

**Fongicide** Substance qui tue les organismes cryptogamiques, comme les moisissures et le mildiou, et les champignons responsables des maladies des plantes.

**Fragmentation de l'habitat** Altération ou morcellement de l'habitat en îlots distincts, ou faiblement reliés, sous l'effet d'une modification ou d'une conversion du paysage attribuable aux aménagements par l'être humain.

**Gestion de la demande** Gestion de l'utilisation d'une ressource, comme l'eau, en en réduisant la demande.

**Gestion de l'eau** Attribution de l'eau, habituellement selon la priorité de chaque utilisateur.

**Gestion des approvisionnements** Gestion de l'utilisation d'une ressource, comme l'eau, en maintenant un approvisionnement sûr.

**Guilde** Ensemble d'espèces qui partagent le même habitat, ont recours aux mêmes ressources (ou les utilisent de la même manière) et ont une niche écologique et un style de vie semblable.

**Hépatotoxine** Substance qui nuit à la fonction hépatique.

**Herbicide** Substance qui tue les végétaux, dont la formulation est souvent efficace contre certaines espèces; utilisé pour combattre les mauvaises herbes dans les terres cultivées, les jachères et les emprises.

**Infiltration** Pénétration des eaux superficielles dans le sol ou la roche par des fissures et des pores.

**Insecticide** Substance qui tue les insectes, dont la formulation est souvent efficace contre certaines espèces; utilisé pour maîtriser les insectes prédateurs des cultures et les parasites des animaux.

**Instruments économiques** Mécanismes fondés sur les incitatifs afin d'encourager une meilleure performance environnementale, tels les redevances, les impôts et les subventions.

**Intra-bassin** Au sein d'un bassin fluvial, en particulier lorsqu'il s'agit de dérivation de l'eau.

**Intrant** Facteur introduit dans un système d'exploitation agricole, ou ajouté à ce système (ex. l'énergie, les **pesticides** ou les **éléments nutritifs**).

**Invasion d'eau de mer** Déplacement souterrain d'une eau à forte teneur en sel vers les puits situés près des littoraux marins, souvent sous l'effet de ponctions excessives d'eau douce du puits.

**Invertébrés benthiques** Communauté d'espèces invertébrées associées à la portion vivante du **benthos** et formant un lien vital dans la chaîne alimentaire des espèces d'ordre supérieur.

**Irrigation** Application d'eau à une culture pour augmenter la quantité qu'elle reçoit du sol et des **précipitations**.

**Irrigation par effluent** Irrigation par des eaux usées municipales ou industrielles.

**Jachère** Terre cultivable qui n'est pas ensemencée pendant au moins un an, mais dont le sol est travaillé ou traité contre les mauvaises herbes; une catégorie dans le recensement sur l'utilisation des terres agricoles.

**Jour de sol nu** Jour ou équivalent-jour (p. ex. deux demi-journées) où le sol n'est pas protégé par un couvert, des résidus végétaux ou de la neige et est donc exposé aux éléments.

**Lessivage** Entraînement des matériaux en solution par l'eau qui s'infiltre le long du profil de sol.

**LUNKER** Abri de bois utilisé dans la restauration des cours d'eau et qui sert de zone d'ombrage pour les poissons le long des berges.

**Lutte antiparasitaire intégrée** Méthode de lutte contre les ravageurs qui combine des techniques comme la rotation des cultures, la culture et la lutte antiparasitaire biologique et chimique.

**Macro-invertébré** Invertébré assez gros pour être vu sans agrandissement.

**Meilleure pratique de gestion** Pratique agricole (p. ex. associée à la gestion du sol, de l'eau, des végétaux ou des animaux) optimale tant du point de vue économique qu'environnemental.

**Métal lourd** Élément métallique de masse atomique élevée, comme le cadmium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le plomb, le mercure, le molybdène, le nickel, le sélénium et le zinc.

**Méthémoglobinémie** État d'anoxie produit, particulièrement chez les nouveau-nés, lorsque des nitrites sont absorbés du tube digestif par le sang; elle entrave le transport de l'oxygène par l'hémoglobine.

**Minéralisation** Conversion d'une substance organique en matière minérale sous l'effet d'une **décomposition** microbienne.

**Mise en valeur** Modification des attributs de l'environnement pour y apporter des améliorations, habituellement le résultat de l'activité humaine.

**Modulateur endocrinien** Produit chimique qui provoque des perturbations des systèmes hormonaux des organismes qui l'assimilent.

**Monoculture** Culture d'une espèce végétale unique sur les mêmes superficies pendant de nombreuses années.

**Nappe phréatique** Zone de saturation du sol en eau; surface supérieure d'une **eau souterraine**, à une profondeur où la pression de l'eau est égale à la pression atmosphérique. **Neurotoxine** Substance qui entrave la fonction nerveuse.

**Nitrates** Sels solubles de l'**azote**, source courante d'azote pour les végétaux; naturellement présents dans les eaux souterraines et superficielles, ils peuvent toutefois atteindre des niveaux polluants sous l'effet de l'activité humaine.

**Oligotrophe** Eaux très pauvres en **éléments nutritifs** dissous, caractérisées par une faible productivité photosynthétique et une forte teneur en oxygène dissous à toutes les profondeurs.

**Périphyton** Complexe d'algues et de petits animaux, comme les larves d'insectes, qui se développent ou qui vivent sur les surfaces immergées dans les eaux douces comme les roches et les tiges de végetaux.

**Perméable** Substance poreuse que peuvent pénétrer les gaz ou les liquides.

**Pesticide** Produit chimique qui tue ou qui maîtrise les ravageurs; comprennent les **herbicides**, les **insecticides**, les **fongicides**, les nématicides, les rodenticides et les acaricides.

**Pesticide organochloré** Pesticides organiques renfermant du chlore, comme le dichlorodiphényl-trichloroéthane (DDT); réputés sujet à la **bioaccumulation** et la **bio amplification**.

**Phosphore** Élément nutritif clé des végétaux et polluant potentiel de l'eau, en particulier des eaux superficielles.

**Photosynthèse** Réaction par laquelle les végétaux transforment le gaz carbonique et l'eau en hydrates de carbone et en d'autres composés à partir de l'énergie fournie par la lumière solaire captée par la chlorophylle des végétaux.

**Plan de gestion des éléments nutritifs** Un plan d'exploitation agricole où sont évaluées toutes les sources d'**éléments nutritifs** nécessaires aux végétaux (p. ex. les engrais commerciaux, le fumier, les **solides biologiques**, etc.) et qui les attribue aux cultures pour en tirer un avantage économique maximal avec un minimum de risque pour l'environnement.

**Plan environnemental de l'exploitation agricole** Plan décrivant les préoccupations d'ordre environnemental d'un exploitant particulier, ainsi que les actions prises pour palier ses craintes; plan volontairement préparé et exécuté par l'exploitant.

**Point de flétrissement permanent** Teneur en eau du sol à laquelle les végétaux ne peuvent plus se rétablir du flétrissement diurne.

**Pratique culturale normale** Méthodes communément acceptées pour un certain type d'exploitation agricole; ne constitue pas nécessairement la **meilleure pratique de gestion**.

**Précipitation** Toute forme d'eau liquide (pluie ou bruine) ou solide (neige ou grêle) qui tombe de l'atmosphère vers le sol.

**Principe de précaution** Principe selon lequel toutes les mesures de précaution devraient être prises lorsqu'une activité comporte un risque pour l'environnement ou la santé humaine, que l'on dispose ou non de résultats de recherche scientifique indiquant de façon irréfutable le bien-fondé de ces mesures.

**Production primaire** Élaboration de biomasse végétale et accumulation d'énergie par la photosynthèse ou la chimiosynthèse; réalisée par les végétaux de la base de la chaîne alimentaire.

**Programme de consultation entre pairs** Programme exploité par les agriculteurs afin d'aider leurs homologues à adopter volontairement des méthodes d'exploitation agricole respectueuses de l'environnement.

**Puits** Pour les sols, il s'agit de la capacité d'assimiler des substances et de les retenir ou de les libérer ultérieurement au profit de la croissance végétative aérienne et souterraine.

**Qualité de l'eau** Caractéristiques chimiques, physiques et biologiques de l'eau; aptitude de l'eau à un usage particulier, par exemple comme habitat aquatique, comme eau potable pour les êtres humains et pour l'irrigation.

**Quantité d'eau** Mesure de la quantité d'eau présente dans le paysage sous forme d'eaux superficielles ou souterraines.

**Recensement de l'agriculture** Recensement national de l'agriculture qui recueille des données sur la structure et l'économie des exploitations agricoles, sur les cultures et l'aménagement des terres et sur le bétail; a lieu tous les cinq ans et est effectué par Statistique Canada.

**Réchauffement planétaire** Hausse possible des températures du globe attribuable à l'augmentation de l'effet de serre.

**Réglementation** Contrôle gouvernemental par les lois.

**Répartition de l'eau** Fait de décider de l'endroit et du moment où les ressources en eau seront utilisées et de la façon dont elles le seront; décisions semblables concernant l'orientation des activités d'aménagement hydraulique.

**Ressource non renouvelable** Ressource dont la quantité matérielle totale n'augmente pas de façon appréciable dans une période à l'échelle de l'être humain.

**Salin** Qualifie un sol renfermant des quantités excessives de sel.

**Salinité** État d'un sol qui renferme des quantités excessives de sel.

**Saturation** État d'un sol dans lequel tous les espaces lacunaires de la rhizosphère sont remplis d'eau.

**Sécheresse** Longue période de temps anormalement sec qui épuise les ressources en eau.

**Sécheresse agricole** Type de **sécheresse** qui survient lorsque la faible humidité du sol, associée à la rareté de l'eau, arrête la croissance végétale, diminue les rendements et met en danger le bétail.

**Sécheresse hydrologique** Type de sécheresse qui survient lorsqu'une longue **sécheresse météorologique** provoque une brusque diminution du niveau des eaux souterraines, des rivières, des fleuves et des lacs.

**Sécheresse météorologique** Type de **sécheresse** qui survient lorsque les précipitations sont bien inférieures à la normale au cours d'une longue période.

**Sédiment** Particules de sol transportées par l'écoulement de surface et qui se précipitent dans les eaux superficielles comme les cours d'eau et les lacs.

**Sédiment en suspension** Particules de sol en suspension dans l'eau.

**Sédimentation** Processus de déposition des **sédiments** dans les eaux superficielles comme les cours d'eau et les lacs.

**Semis direct** *Voir* **Culture sans labour**.

**Seuil** Secteur peu profond dans le lit d'un cours d'eau où l'eau coule rapidement et où les sédiments grossiers sont en surface; site favorable à l'alimentation et au frai des communautés benthiques.

**Sols organiques** Sols prenant naissance dans un milieu saturé d'eau pendant de longues périodes, dans lequel la matière organique s'accumule plus vite qu'elle ne se décompose; voir aussi **tourbe**.

**Structure du sol** Propriétés physiques d'un sol associées à l'arrangement et à la stabilité de ses particules, **agrégats** et pores.

**Terrasse** Topographie d'une bande de terre nivelée qui rompt la continuité d'une pente; permet de maîtriser l'**érosion** du sol.

**Terres humides** Terre fréquemment ou toujours inondée par les eaux superficielles ou souterraines, qui peut habituellement entretenir les formes de vie végétale ou aquatique qui réclament des sols saturés en permanence ou de façon saisonnière pour croître ou se reproduire; selon la Classification des terres humides du Canada, il existe cinq classes de terres humides, 70 formes de terres humides et de nombreux types de terres humides selon leur végétation.

**Texture** *Voir* **texture du sol**.

**Texture du sol** Proportion relative de sable, de limon et d'argile dans un sol.

**Tolérance zéro** En ce qui a trait à la qualité de l'eau, la décision de n'accepter aucune substance non naturelle (p. ex. un **pesticide**) ni teneur élevée d'**éléments nutritifs** (p. ex. **nitrate** ou **phosphore**) dans l'eau.

**Tourbe** noire ou brune, formée de matières végétatives fibreuses, incomplètement décomposées, qui se sont accumulées dans un milieu saturé d'eau, comme une tourbière.

**Transfrontalier** Qui traverse une frontière provinciale ou nationale.

**Transpiration** Perte de vapeur d'eau par les stomates des végétaux ou par l'évaporation à partir des tissus cellulaires.

**Travail de conservation du sol** Toute étape de travail du sol dont l'objectif est de réduire les pertes de sol et d'eau; le travail du sol ou la combinaison du travail et des semences qui laissent un couvert de 30 % ou plus de résidus végétaux sur la surface.

**Turbidité** Mesure de la transparence de l'eau, ou degré d'opacité de l'eau attribuable aux limons en suspension ou aux organismes.

**Voie d'eau gazonnée** Bande de terre gazonnée qui sert à évacuer les eaux superficielles et qui contribue à maîtriser l'érosion.

**Volume de débordement** Quantité maximale d'eau retenue dans les limites des berges d'un cours d'eau.

**Utilisation consommatrice d'eau** Mode d'aménagement de l'eau par lequel l'eau est prélevée de sa source et peut y retourner ou non.

**Utilisation non consommatrice d'eau** Mode d'utilisation où l'eau n'est pas prélevée de la source.

**Zone d'alimentation** Point où l'eau percole à travers le sol vers les **eaux souterraines**.

**Zone d'émergence** Zone où une **eau souterraine** rejoint la surface du sol.

**Zone littorale** Pour les lacs, la zone comprise entre le rivage et une profondeur d'environ cinq mètres.

**Zone riveraine** Terre bordant immédiatement un cours d'eau ou un point d'eau.

**Zone tampon** Bande de terre entre des zones cultivées et un habitat naturel, ménagée pour limiter les effets de l'agriculture sur cet habitat (p. ex. zone aménagée sur les rives d'un cours d'eau pour protéger l'habitat **riverain** et limiter l'apport de terre, d'éléments nutritifs et de pesticides dans les voies d'eau).

# Bibliographie

## Références générales

Acton, D.F. et L.J. Gregorich (eds.). 1995. La santé de nos sols — Vers une agriculture durable au Canada. Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ont.). Disponible sur Internet à l'adresse http://res2.agr.ca/CansIs/PUBLICATIONS/HEALTH/_overview.html.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1997. Agriculture en harmonie avec la nature — Stratégie pour un environnement agricole et agroalimentaire durable au Canada. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Ottawa (Ont.).

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1997. Profil des tendances de production et des enjeux environnementaux du secteur agricole et agroalimentaire canadien. Catalogue No. A22-166/2 1997E. Ottawa, Ont.

Association canadienne des ressources hydriques. 1997. Practising Sustainable Water Management: Canadian and International Experiences. Canadian Water Resources Association, Cambridge, Ont.

Association canadienne des ressources hydriques. 1996. Proceedings of the Watershed Management Symposium: Defining State of the Art, State of the Knowledge, State of the Practice. Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario, Canada, December 6, 7, and 8, 1995. Canadian Water Resources Association, Cambridge, Ont.

Conseil des sciences du Canada. 1988. Water 2020: Sustainable Use for Water in the 21st Century. SCC Report 40. Science Council of Canada, Ottawa, Ont.

Environnement Canada. 1987. Politique fédérale relative aux eaux. Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Canada. 1994. Notions élémentaires sur l'eau douce. Environnement Canada, Ottawa (Ont.)

Environnement Canada. 1996. L'état de l'environnement au Canada — 1996. Environment Canada, Ottawa (Ont.) Disponible sur l'Internet à l'adresse http://www.ec.gc.ca

Environnement Canada. 1998. Le Canada et les eaux douces : Expérience et Pratiques. Monograph No. 6 in the Sustainable Development in Canada Monograph Series. Catalogue No. E2-136/6 1998. Ottawa, Ont.

Janzen, H.H., R.L. Desjardins, J.M.R. Asselin, et B. Grace. 1998. La santé de l'air que nous respirons — Vers une agriculture durable au Canada. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ont.). Disponible sur Internet à l'adresse http://res2.agr.ca/research-recherche/science/Healthy_Air/toc.html.

McAllister, D.E., A.L. Hamilton, and B. Harvey. 1997. Global Freshwater Biodiversity: Striving for the Integrity of Freshwater Ecosystems. Special issue of Sea Wind, Bulletin of Ocean Voice International, vol. 11(3).

Mitchell, B. and D. Shrubsole. 1994. Canadian Water Management: Visions for Sustainability. Canadian Water Resources Association, Cambridge, Ont.

Pearse, P.H., F. Bertrand, and J.W. MacLaren. 1985. Currents of Change: Final Report, Inquiry on Federal Water Policy. Inquiry on Federal Water Policy, Ottawa, Ont.

Shrubsole, D. and D. Tate (eds.). 1994. Every Drop Counts: Canada's First National Conference and Trade Show on Water Conservation, Winnipeg, Manitoba (February 4–6, 1993), Conference Highlights. Canadian Water Resources Association, Cambridge, Ont.

Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (Canada). 1996. L'état du débat sur l'environnement et l'économie : Water and Wastewater Services in Canada. Ottawa, Ont.

World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future. Oxford University Press, Oxford, U.K.

## Références dans les chapitres

### Chapitre 1 :

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1999. Portrait du circuit agroalimentaire canadien. Disponible sur Internet à l'adresse http://www.agr.ca/policy/epad/.

### Chapitre 2 :

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1998. Ecodistrict Climate Database. CanSIS. Available on the Internet at http://res.agr.ca/CANSIS/NSDB/ECOSTRAT/DISTRICT/climate.html.

Association canadienne des ressources hydriques. 1994. Principes de développement durable des ressources hydriques du Canada : Une politique de l'Association canadienne des ressources hydriques. CWRA, Cambridge (Ont.).Disponible sur Internet à l'adresse http://www.cwra.org/sustprin.html.

Commission on Sustainable Development. 1997. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. United Nations, New York, N.Y. Available on the Internet at gopher://gopher.un.org/00/esc/cn17/1997/ off/97--9.EN

Environnement Canada. 1992. De l'eau — ici, là-bas, partout de l'eau. Collection Eau douce, A-2. Ottawa (Ont.).

Healey, M.C. and R.R. Wallace (eds.). 1987. Canadian Aquatic Resources. Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, Ont.

McCully, P. 1996. Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams. Zed Books, London, U.K.

Pêches et Océans et Environnement Canada. 1978. Atlas hydrologique du Canada. Approvisionnement et Services Canada, Ottawa (Ont.).

### Chapitre 3 :

Brady, N.C. and R.R. Weil. 1996. The Nature and Properties of Soils. 11th Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

Cuthbertson, E.H., L. Senyshyn, and S. Koppen-Train. 1995. Milking Centre Waste Management in Ontario. Can. Soc. Agric. Engr. Paper No. 95-513.

Day, J.C. and F. Quinn. 1992. Water Diversion and Export: Learning from Canadian Experience. Can. Assoc. Geographers and Dept. of Geography, Univ. of Waterloo, Waterloo, Ont.

Environnement Canada. 1998. Le Canada et les eaux douces. Monographie No 6. Ottawa (Ont.). Disponible sur Internet à l'adresse http://www.ec.gc.ca/water/en/info/e_data. htm.

Environnement Canada. 1999. Base de données sur l'utilisation de l'eau par les municipalités (MUD) de 1996. Disponible sur Internet à l'adresse http://www.ec.gc.ca/water /en/ manage/us e/e_munuse.htm#use.

Hess, P.J. 1986. Ground-Water Use in Canada, 1981. Paper No. 28, IWD Technical Bulletin No. 140. National Hydrology Research Institute, Environment Canada, Ottawa, Ont.

Ministère de l'Agriculture et des Affaires rurales de l'Ontario. 1994. Water Management. Best Management Practices Series. Guelph, Ont.

Statistique Canada. 1996. Recensement sur l'agriculture. Disponible sur Internet à l'adresse http://www.stat can.ca/english/censusag/tables.htm.

Tate, D.M. and D.N. Scharf. 1995. Water Use in Canadian Industry, 1991. Social Science Series No. 31. Environment Canada, Ottawa, Ont.

University of Saskatchewan. 1984. Guide to Farm Practice in Saskatchewan. Division of Extension and Community Relations, Univ. of Saskatchewan, Saskatoon, Sask.

Van der Gulik, T.W. (ed.). 1989. B.C. Sprinkler Irrigation Manual. British Columbia Ministry of Agriculture and Food and Irrigation Industry Association of British Columbia, Victoria, B.C.

### Chapitre 4 :

Angus Reid Group. 1993. The Angus Reid Report. Vol. 8. No. 6.

Black, P.E. 1995. The Critical Role of "Unused" Resources. Water Resources Bulletin, Amer. Water Resources Assoc. 31:589–592.

Commission économique européenne. 1980. EEC's Directive 80/778/CEE du Conseil, du 15 juillet 1980, relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

Conseil canadien des ministres de l'environnement. 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Ottawa (Ont.).

Council for Agricultural Science and Technology. 1992. Water Quality: Agriculture's Role. CAST Task Force Report. No. 120. Ames, Iowa.

Groupe de travail sur l'approche écosystémique et la science des écosystèmes. 1996. The Ecosystem Approach: Getting Beyond the Rhetoric. Environnement Canada, Ottawa (Ont.)

Harker, D.B., B.D. Hill, and H.H. McDuffie. 1998. The Risk Agriculture Poses to Water Quality—Factors Affecting our Interpretation of Findings. First Intn'l. Conf. on Children's Health and Environment, Amsterdam. E-WE-FP1-1, p. 490. Available on the Internet at http://aceis.agr.ca/pfra/publice.htm.

Institut canadien pour la protection des cultures. 1998. L'eau source de vie : guide du producteur. CPIC Task Force on Crop Protection Chemicals in Water. CPIC, Willowdale, Ont.

Larkin, P.A. 1974. Freshwater Pollution, Canadian Style. McGill-Queen's University Press, Montreal, Que.

Léonard, M. et R. Leduc. 1997. L'eau dans l'alimentation : d'autres résultats. Le producteur de lait québécois 17:22–24.

Linton, J. 1997. Beneath the Surface: The State of Water in Canada. Canadian Wildlife Federation, Ottawa, Ont.

McRae, T., C.A.S. Smith, and L.J. Gregorich (eds.). 2000. Environmental Sustainability of Canadian Agriculture: Agri-Environmental Indicator Project. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont.

Milburn, P., W. Nicholaichuk, and C. Topp. 1992. Agricultural Impacts on Water Quality: Canadian Perspectives. Proc. National Workshop of the Canadian Agricultural Research Council, April 23–24. Ottawa, Ont.

Santé et Bien-être social Canada. 1993. The Undiluted Truth about Drinking Water. Health and Welfare Canada, Ottawa, Ont.

Symbiotics. 1996. Agriculture and Water Quality: A Summary of Issues and Management in Canada. Report prepared for the National Agriculture and Environment Committee. Ottawa, Ont.

Veenhuizen, M.F. and G.C. Shurson. 1992. Effects of Sulfate in Drinking Water for Livestock. Indian J. Dairy Sci. 201:487–492.

Young, G.J., J.C.I. Dooge, and J.C. Rodda. 1994. Protection of Water Resources, Water Quality and Aquatic Ecosystems. Pages 73-86 in Global Water Resource Issues. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

## Chapitre 5 :

Anderson, A-M., D.O. Trew, R.D. Neilson, N.D. MacAlpine, and R. Borg. 1998. Impacts of Agriculture on Surface Water Quality in Alberta. Part 1: Haynes Creek Study. Canada–Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Agreement. Alberta Environmental Protection and Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Alta.

Bernard, C. and M.R. Laverdière. 1992. Spatial Redistribution of Cs-137 and Soil Erosion on Orléans Island, Québec. Can. J. Soil Sci. 72:543–554.

Canadian–Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Water Quality Committee. 1998. Agricultural Impacts on Water Quality in Alberta: An Initial Assessment. CAESA Agreement. Lethbridge, Alta.

Cessna, A.J., J.A. Elliott, L.A. Kerr, K.B. Best, W. Nicholaichuk, and R. Grover. 1994. Transport of Nutrients and Postemergence-applied Herbicides During Corrugation Irrigation of Wheat. J. Env. Qual. 23:1038–1045.

Coote, D.R., E.M. MacDonald, and W.T. Dickinson (eds.). 1978. Agricultural Watershed Studies, Great Lakes Drainage Basin, Canada. Final Summary Report. International Reference Group on Great Lakes Pollution from Land Use Activities. International Joint Commission. Windsor, Ont.

Donald, D.B., J. Syrgiannis, F. Hunter, and G. Weiss. 1999. Agricultural Pesticides Threaten the Ecological Integrity of Northern Prairie Wetlands. The Science of the Total Environment 231:173–181.

Environnement Canada. 1992. L'état de l'environnement dans le bassin inférieur du fleuve Fraser. Rapport SOE No 92-1. Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Canada. 1997. State of the Great Lakes 1997. Environment Canada. Burlington, Ont. Available on the Internet at http://www.cciw.ca/glimr/data/sogl-final-report/intro.html

Giroux, I., M. Duchemin, and M. Roy. 1997. Contamination de l'eau par les pesticides dans les régions de culture intensive du maïs au Québec. Campagnes d'échantillonnage de 1994–1995. Envirodoq EN970099 PES-8. Direction des écosystèmes aquatiques, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Ste-Foy (Québec).

Government of Prince Edward Island. 2000. Surface Water Quality. Available on the Internet at http://www2.gov.pe.ca/roundtable/water/1surface.asp.

Hall, J.C., T.D. Van Deynze, J. Struger, and C.H. Chan. 1993. Enzyme Immunoassay Based Survey of Precipitation and Surface Water for the Presence of Atrazine, Metolachlor, and 2,4-D. J. Env. Sci. and Health, Part B-Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes B28(5):577–598.

Harker, D.B., K. Bolton, L. Townley-Smith, and W. Bristol. 1997. A Prairie-wide Perspective of Nonpoint Agricultural Effects on Water Quality. Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture and Agri-Food Canada. Catalogue No. A98-3/2-1997E. Regina, Sask.

IRC Integrated Resource Consultants. 1994. Agricultural Land Use Survey in the Sumas River Watershed: Summary Report. Prepared for B.C. Ministry of Environment, Lands and Parks; Environment Canada, and Department of Fisheries and Oceans. Richmond, B.C.

Jensen, J., K. Adare, and R. Shearer (eds.). 1997. Rapport de l'évaluation des contaminants dans l'Arctique canadien. Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien, Ottawa (Ont.).

Locken, B. and G. Derksen. 1998. Fraser River Action Plan: Report on Abatement Activities Related to Agriculture and Waste Management in the Lower Fraser Valley. Prepared for B.C. Environment and Environment Canada.

Masse, L., N.K. Patni, P.Y. Jui, and B.S. Clegg. 1996. Tile Effluent Quality and Chemical Losses under Conventional and No Tillage, Part 2: Atrazine and Metolachlor. Trans. Amer. Soc. Agric. Engr. 39:1673–1679.

McRae, T., C.A.S. Smith, and L.J. Gregorich (eds.). 2000. Environmental Sustainability of Canadian Agriculture: Report of the Agri-Environmental Indicator Project. Agriculture and Agri Food Canada, Ottawa, Ont.

Milburn, P., W. Nicholaichuk, and C. Topp. 1992. Agricultural Impacts on Water Quality: Canadian Perspectives. Proc. National Workshop of the Canadian Agricultural Research Council, April 23–24. Ottawa, Ont.

O'Neill, H.J. and J.A. Doull. 1992. A Review of Triazine Herbicide Occurrence in Agricultural Watersheds of Maritime Canada: 1983–1989. Can. Water Resources J. 17:238–245.

Patni, N.K., L. Masse, and P.Y. Jui. 1996. Tile Effluent Quality and Chemical Losses under Conventional and No Tillage, Part 1: Flow and Nitrate. Trans. Amer. Soc. Agric. Engr. 39:1665–1672.

Pesant, A.R., J.L. Dionne, and J. Genest. 1987. Soil and Nutrient Losses in Surface Runoff from Conventional and No-till Corn Systems. Can. J. Soil Sci. 67:835–843.

Rawn, D.F.K., T.H.J. Halldorson, W.N. Turner, R.N. Woychuk, J-G. Zakrevsky, and D.C.G. Muir. 1999. A Multi-year Study of Four Herbicides in Surface Water of a Small Prairie Watershed. J. Env. Qual. 28:906–917.

Struger, J. 1999. Organophosphorus Insecticides and Endosulfan in Surface Waters of the Niagara Fruit Belt, Ontario, Canada. Published abstract of a paper presented at meeting of the Int. Assoc. Great Lakes Research, May. Cleveland, Ohio.

Struger, J. and C.H. Chan. 1996. Occurrence and Transport of Herbicides in Precipitation from the Canadian Section of the Great Lakes Basin. Published abstract of a paper presented at meeting of the Soc. Env. Tox. & Chem., Nov. Washington, D.C.

Struger, J., D. Boyter, Z.J. Licsko, and B.D. Johnson. 1994. Environmental Concentrations of Urban Pesticides. Current Practices in Modeling the Management of Stormwater Impacts. CRC Press, Boca Raton, Fla.

Struger, J., S. Painter, B. Ripley, and B. Thorburn. 1999. Agricultural Pesticide Concentrations in Canadian Lake Erie Tributaries. Published abstract of a paper presented at meeting of the Int. Assoc. Great Lakes Research, May. Cleveland, Ohio.

Tabi, M., L. Tardif, D. Carrier, G. Laflamme, et M. Rompré. 1990. Inventaire des problèmes de dégradation des sols agricoles du Québec. Rapport synthèse. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

van Vliet, L.J.P., B.J. Zebarth, and G. Derksen. 1999. Risk of Surface Water Contamination from Manure Management on Corn Land in South Coastal British Columbia. Technical Report No. 151 (Draft). Pacific Agri-Food Research Centre, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Agassiz, B.C.

van Vliet, L.J.P., B.J. Zebarth, J.W. Paul, and G. Derksen. 1997. Loss of Nitrogen to the Environment from Agricultural Production in the Lower Fraser Valley, British Columbia. Technical Report No. 138. Pacific Agri-Food Research Centre, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Agassiz, B.C.

Waite, D.T., R. Grover, N.D. Westcott, D.G. Irvine, L.A. Kerr, and H. Sommerstad. 1995. Atmospheric Deposition of Pesticides in a Small Southern Saskatchewan Watershed. Env. Tox. & Chem. 14:1171–1175.

## Chapitre 6 :

Acton, D.F. et Gregorich, L.J. (eds.). 1995. La santé de nos sols — Vers une agriculture durable au Canada. Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ont.). Disponible sur Internet à l'adresse http://res2.agr.ca/CANSIS/PUBLICATIONS/HEALTH/_overview.html.

Betcher, R.N. 1997. Rural Groundwater Quality Surveys in Southern and Central Manitoba. Proc. Rural Water Quality Symposium, March 25–26. Winnipeg, Man.

Bukowski, J., G. Somers, and J. Bryanton. 1997. Cigarette Smoking, Drinking Water Nitrates, and Other Potential Risk Factors for Adverse Reproductive Outcomes: Results of a Case-Control Study on Prince Edward Island. P.E.I. Reproductive Care Program Inc., August, Charlottetown, P.E.I.

Canada–Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Water Quality Committee. 1998. Agricultural Impacts on Water Quality in Alberta: An Initial Assessment. CAESA Agreement, Lethbridge, Alta.

Clifton Associates Ltd. 1997. Shallow Groundwater Quality Survey: Summary Report. Prepared for Saskatchewan Environment and Resource Management, Canada–Saskatchewan Agriculture Green Plan Agreement, Regina, Sask.

Giroux, I. 1995. Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions de culture de pomme de terre. Campagnes d'échantillonage 1991–1992–1993. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec (Québec).

Goss, M.J., D.A.J. Barry, and D.L. Rudolph. 1998. Contamination in Ontario Farmstead Domestic Wells and its Association with agriculture. 1. Results from Drinking Water Wells. J. Contam. Hydrol. 32:267–293.

Grove, G., S.Y. Szeto, H. Liebscher, B. Hii, and B.J. Zebarth. 1998. Occurrence of 1,2 dichloropropane and 1,3-dichloropropene in the Abbotsford Aquifer, British Columbia. Water Qual. Research J. Can. 33:51–71.

Masse, L., N.K. Patni, P.Y. Jui, and B.S. Clegg. 1998. Groundwater Quality under Conventional and No Tillage: II. Atrazine, Deethylatrazine, and Metolachlor. J. Env. Qual. 27:877–883.

Milburn, P.H., K.T.B. MacQuarrie, and R.S. Gallagher. 1994. Deep Groundwater Quality as Affected by Agriculture at Two Sites in New Brunswick. Paper No. 94-01 presented to the Can. Soc. Agric. Engr. at the Ann. Conf. of the Agric. Inst. Can., July 10–14, Regina, Sask.

Milburn, P.H., D.A. Leger, H. O'Neil, K. MacQuarrie, and J.E. Richards. 1995. Point and Non point Source Leaching of Atrazine from a Corn Field: Effects on Tile Drainage Water Quality. Can. Agric. Engr. 37:269–277.

Milburn, P., D.A. Leger, H. O'Neil, J.E. Richards, J.A. MacLeod, and K. MacQuarrie. 1995. Pesticide Leaching Associated with Conventional Potato and Corn Production in Atlantic Canada. Water Qual. Research J. Can. 30:383–397.

Milburn, P., K.T.M. MacQuarrie, K. McCully, R. King, M. Bolden, and M. Reeves. 1998. Velpar Leaching Associated with Wild Blueberry Production on Coarse Glacial Outwash. Paper No. 98-107, presented to the Can. Soc. Agric. Engr. Conf., Agric. Inst. Can., July 5–9. Vancouver, B.C.

Milburn, P., H. O'Neill, C. Gartley, T. Pollack, J.E. Richards, and H. Bailey. 1991. Leaching of Dinoseb and Metribuzin from Potato Fields in New Brunswick. Can. Agric. Engr. 33:197–204.

Miller, J.J., N. Foroud, B.D. Hill, and C.W. Lindwall. 1995. Herbicides in Surface Runoff and Groundwater under Surface Irrigation in Southern Alberta. Can. J. Soil Sci. 75:145–148.

Nova Scotia Department of the Environment. 1990. Nova Scotia Farm Well Water Quality Assurance Study, Phase I: Final Report. Nova Scotia Department of the Environment, Nova Scotia Department of Agriculture and Marketing, and Nova Scotia Department of Health and Fitness. June.

O'Neill, H.J., P. Milburn, D.A. Léger, J. MacLeod, and J. Richards. 1992. A Screening Survey for Chlorothanonil Residues in Waters Proximal to Areas of Intensive Agriculture. Can. Water Resources J. 17:7–19.

Patni, N.K., L. Masse, and P.Y. jui. 1998. Groundwater Quality under Conventional and No Tillage: I. Nitrate, Electrical Conductivity, and pH. J. Env. Qual. 27:869–877.

P.E.I. Department of Fisheries and the Environment. 1997. Pesticides and Drinking Water. Preliminary Results of the Pesticide Monitoring Program. P.E.I. Department of Fisheries and Environment, Charlottetown, P.E.I.

Rudolph, D.L., D.A.J. Barry, and M.J. Goss. 1998. Contamination in Ontario Farmstead Domestic Wells and its Association with Agriculture. 2. Results from Multilevel Monitoring Well Installations. J. Contam. Hydrol. 32:295–311.

Swaine, A. 1995. Well Watch 1995: Nitrate Levels in the Bedeque Bay Watershed. Presented to Bedeque Bay Environmental Management Association, Summerside, P.E.I.

Zebarth, B.J., B. Hii, H. Liebscher, K. Chipperfield, J.W. Paul, G. Grove, and S.Y. Szeto. 1998. Agricultural Land Use Practices and Nitrate Contamination in the Abbotsford Aquifer, British Columbia, Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 69:99–112.

Zebarth, B.J., J.W. Paul, and R. Van Kleeck. 1999. The Effect of Nitrogen Management in Agricultural Production on Water and Air Quality: An Evaluation on a Regional Scale. Agriculture, Ecosystems and Environment 72:35–52.

## Chapitre 7 :

Adams, B. and L. Fitch. 1998. Caring for the Green Zone: Riparian Areas and Grazing Management. Cows and Fish Program. Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Lethbridge, Alta.

Agriculture et Agroalimentaire Canada; Ministère de l'Agriculture et des Affaires rurales de l'Ontario et Environnement Canada. 1997. Managing Agricultural Drains to Accommodate Wildlife.

Bishop, C.A., N.A. Mahony, J. Struger, P. Ng, and K.E. Pettit. 1999. Anuran Development, Density and Diversity in Relation to Agricultural Activity in the Holland River Watershed, Ontario, Canada (1990–1992). Env. Mon. & Assess. 57:21–43.

Brown, L.S. and D.R.S. Lean. 1995. Toxicity of Selected Pesticides to Lake Phytoplankton Measured Using Photosynthetic Inhibition Compared to Maximal Uptake Rates of Phosphate and Ammonium. Env. Tox. & Chem. 14:93–98.

Cox, K.W. 1993. Wetlands: A Celebration of Life. Final Report of the Canadian Wetlands Conservation Task Force. North American Wetlands Conservation Council (Canada). Ottawa, Ont.

Donald, D.B. and J. Syrgiannis. 1995. Occurrence of Pesticides in Prairie Lakes in Saskatchewan in Relation to Drought and Salinity. J. Environ. Qual. 24:266–270.

Environnement Canada. 1991. La politique fédérale sur la conservation des terres humides. Service canadien de la faune, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Canada. 1998. Manure: Farming and Healthy Fish Habitat. Brochure.

Environnement Canada, 2000. Available on the Internet at http://www.cciw.ca/ glimr/data/sogl final-report/fig05.html.

Gouvernement du Canada. 1991. Toxic Chemicals in the Great Lakes and Associated Effects. Volume I. Contaminant Levels and Trends. Volume II. Effects. Environnement Canada, Pêches et Océans et Santé et Bien-être social Canada, Ottawa (Ont.).

Gouvernements du Canada et de la Colombie-Britannique. 1997. Watershed Stewardship: A Guide for Agriculture.

Government of Prince Edward Island. 2000. Available on the Internet at http://www.2.gov.pe.ca/roundtable/water/1surface .asp.

McCormack, K. 1998. Water Management Guide: For Livestock Production, Water Quality, and Wildlife Habitat. Report Prepared for the Ontario Cattlemen's Association and Ontario Federation of Anglers and Hunters. Guelph, Ont.

McRae, T., C.A.S. Smith, and L.J. Gredorich (eds.). 2000. Environmental Sustainability of Canadian Agriculture: Report of the Agri-Environmental Indicator Project. Agriculture and Agri Food Canada, Ottawa, Ont.

Neave, P. and E. Neave. 1998. Habitat and Habitat Availability Indicator. Agri-Environmental Indicator Project. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont.

Newbury, R.W. and M.N. Gaboury. 1993. Stream Analysis and Fish Habitat Design. Newbury Hydraulics Ltd., Gibsons, B.C.

Rouse, J.D., C.A. Bishop, and J. Struger. 1999. Nitrogen Pollution: An Assessment of the Impact on Amphibians. Env. Health Perspectives 197:1–6.

Taylor, W.D., J.H. Carey, D.R.S. Lean, and D.J. McQueen. 1991. Organochlorine Concentrations in the Plankton of Lakes in Southern Ontario and their Relationship to Plankton Biomass. Can. J. Fisheries and Aquatic Sci. 48:1960–1966.

Waiser, M.J. and R.D. Robarts. 1997. Impacts of a Herbicide and Fertilizers on the Microbial Community of a Saline Prairie Lake. Can. J. Fisheries and Aquatic Sci. 54:320–329.

Warner, B.G. and C.D.A. Rubec (eds.). 1997. The Canadian Wetland Classification System. 2nd edition. Wetlands Research Centre, Waterloo, Ont.

Wetland Policy Implementation in Canada. 1994. Proc. National Workshop on Wetland Policy Implementation. Report 94-1. Compiled by C. Rubec. North American Wetlands Conservation Council (Canada), Ottawa, Ont.

## Chapitre 8 :

Baker, J.L., J. M. Laflen, and R.O. Hartwig. 1982. Effects of Corn Residue and Herbicide Placement on Herbicide Runoff Losses. Trans. Amer. Soc. Agric. Engr. 25:340–343.

British Columbia Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1994–1995. Environmental Guidelines Series: For Berry Producers; the Nursery and Turf Industry; Tree Fruit and Grape Producers, Victoria, B.C.

Burwell, R.E., D.R. Timmons, and R.F. Holt. 1975. Nutrient Transport in Surface Runoff as Influenced by Soil Cover and Seasonal Periods. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39:523–528.

Drury, C.F., D.J. McKenney, W.I. Findlay, and J.D. Gaynor. 1993. Influence of Tillage on Nitrate Loss in Surface Runoff and Tile Drainage. Soil Sci. Soc. Amer. J. 57:797–802.

Elliott, J.A. and A.A. Afetha. 1999. Influence of Tillage and Cropping System on Soil Organic Matter, Structure, and Infiltration in a Rolling Landscape. Can. J. Soil Sci. 79:457–463.

Elliott, J.A., A.J. Cessna, and D.W. Anderson. 1998. Effect of Tillage System on Snowmelt Runoff Quality and Quantity. Proc. Ann. Meeting of the Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., and Soil Sci. Soc. Amer., October 18–22, Baltimore, Md.

Gallichand, J., E. Aubin, P. Baril, and G. Debailleul. 1998. Water Quality Improvement at the Watershed Scale in an Animal Production Area. Can. Agric. Engr. 40:67–77.

Gangbazo, G., A.R. Pesant, D. Cluis et D. Couillard. 1993. Effets du lisier de porc sur la charge d'azote et de phosphore dans l'eau de ruissellement sous des pluies simulées. Can. Agric. Engr. 35:97–103.

Grando, S. 1996. Effets de deux modes d'épandage de lisier de porc sur la qualité de l'eau de ruissellement. Mémoire de fin d'études, ENITA de Bordeaux, France.

Haycock, N., T. Burt, K. Goulding, and G. Pinay (eds.). Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection. Quest Environmental, Harpenden, U.K.

Holmstrom, D., R. DeHaan, J.G. Sanderson, and J.A. McLeod. 1999. Residue Management for Potato Rotation in Prince Edward Island. J. Soil & Water Cons. 54:445-448.

Karemangingo, C. 1998. Évaluation des risques de pollution des eaux sous différents systèmes de production du maïs-grain. Thèse de Doctorat. Université Laval, Montréal (Québec).

Lafrance, P., O. Banton, and F. Bernard Inc. 1996. Évaluation environnementale des pratiques culturales sur maïs pour la réduction des pertes d'herbicides. Rapport de recherche INRS-Eau No. R-390. Québec (Québec).

Mickelson, S.K. and J.L. Baker. 1993. Buffer Strips for Controlling Herbicide Runoff Losses. Amer. Soc. Agric. Engr./Can. Soc. Agric. Engr. Meeting Paper No. 93-2084. Spokane, Wash.

Milburn, P. and J.E. Richards. 1991. Annual Nitrate Leaching Losses Associated with Agricultural Land Use in New Brunswick. Paper No. 91-109, Pres. at the Ann. Meeting, Can. Soc. Agric. Engr., July 29–31. Fredericton, N.B.

Milburn, P., J.A. MacLeod, and S. Sanderson. 1997. Control of Fall Nitrate Leaching from Early Harvested Potatoes on Prince Edward Island. Can. Agric. Engr. 39:263–271.

Ministère de l'Agriculture et des Affaires rurales de l'Ontario. 1992–1999. Les pratiques de gestion optimales : Field Crop Production; Fish and Wildlife Habitat Management; Horticultural Crops; Integrated Pest Management; Irrigation Management; Livestock and Poultry Waste Management; No-Till: Making it Work; Nutrient Management; Nutrient Management Planning; Pesticide Storage, Handling, and Application; Soil Management; Water Management, Water Wells. Guelph, Ont.

Pesant, A.R., J.L.Dionne, and J. Genest. 1987. Soil and Nutrient Losses in Surface Runoff from Conventional and No-till Corn Systems. Can. J. Soil Sci. 67:835–843.

Ripley, P.O., W. Kalbfleisch, S.J. Bourget, and D.J. Cooper. 1961. Soil Erosion by Water. Publication 1083. Agriculture Canada, Ottawa, Ont.

Statistique Canada. 1996. Enquête sur la gestion des intrants agricoles, 1995. No de catalogue. 21F0009XPE. Statistique Canada, Ottawa (Ont.).

van Vliet, L.J.P. and J.W. Hall. 1995. Effects of Planting Direction of Brussels Sprouts and Previous Cultivation on Water Erosion in Southwestern British Columbia, Canada. J. Soil & Water Cons. 50:188–192.

van Vliet, L.J.P., J.W. Hall, and D. Fast. 1997. Effects of Erosion Control Practices on Runoff, Soil Loss, and Yield of Strawberries in the Lower Fraser Valley. Can. J. Soil Sci. 77:91–97.

van Vliet, L.J.P., R. Kline, and J.W. Hall. 1993. Effects of Three Tillage Treatments on Seasonal Runoff and Soil Loss in the Peace River Region. Can. J. Soil Sci. 73:469–480.

Wall, G.J., E.A. Pringle, and R.W. Sheard. 1991. Intercropping Red Clover with Silage Corn for Soil Erosion Control. Can. J. Soil Sci. 71:137–145.

Weersink, A. and J. Livernois. 1996. The Use of Economic Instruments to Resolve Water Quality Problems from Agriculture. Can. J. Agric. Econ. 44:345–353.

## Chapitre 9 :

Association canadienne des ressources hydriques. 1996. Proc. Watershed Management Symposium: Defining State of the Art, State of the Knowledge, State of the Practice, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ont., December 6–8, 1995. CWRA, Cambridge, Ont.

Environnement Canada. 1998. El Niño : Le contre-météo. Bulletin Science et Env., fév. Disponible sur Internet à l'adresse : //www. ec.gc.ca/science/bfclimate.htm

Louie, P.Y.T. 1994. Droughts. Proc. Workshop on Improving Responses to Atmospheric Extremes: The Role of Insurance and Compensation. Toronto, Ont., October 3–4.

Mitchell, B. and D. Shrubsole. 1997. Practising Sustainable Water Management: Canadian and International Experiences. Can. Water Resources Assoc., Cambridge, Ont.

Tate, D.M. 1990. Water Demand Management in Canada: A State-of-the-Art Review. Social Science Series No. 23. Environment Canada, Ottawa, Ont.

Tate, D.M., S. Renzetti, and H.A. Shaw. 1992. Economic Instruments for Water Management: The Case for Industrial Water Pricing. Social Science Series No. 26. Environment Canada, Ottawa. United Nations Development Programme, Human Development Report. Oxford University Press, Toronto, Ont.

## Chapitre 10 :

Agriculture et Agroalimentaire Canada; Ministère de l'Agriculture et des Affaires rurales de l'Ontario et Environnement Canada. 1997. Managing Agricultural Drains to Accommodate Wildlife.

Bastien, C. and C.A. Madramootoo. 1991. Presence of Pesticides in Agricultural Runoff from Two Potato Fields in Quebec. Can. Water Resources J. 17:200–212.

British Columbia Ministry of Agriculture and Food. 1984. Demonstration of Agriculture Technology and Economics. Resource Management Branch, Abbotsford, B.C.

British Columbia Ministry of Agriculture and Food. 1997. Agricultural Drainage Manual.

Environnement Canada. 1993. Innondation : Cahier de l'eau du Canada, sous la direction de Jeanne Andrews, Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Gangbazo, G. and Y. Blais. 1987. Qualité du Ruisseau des Anges : Rapport d'étape, Période du 13 août au 3 décembre, 1986. Ministère de l'Environnement du Québec.

MacDonald, J., T. Thomson, and S. Sandrell. 1997. Faces of the Flood. Stoddart, Toronto, Ont.

Muir, D.C., J.Y. Yoo, and B.E. Baker. 1978. Residues of Atrazine and De-ethylated Atrazine in Water from Five Agricultural Watersheds in Quebec. Arch. Env. Contam. & Tox. 7:221–235.

Nicholls, K.H. and H.R. MacCrimmon. 1974. Nutrients in Subsurface and Runoff Waters of the Holland Marsh, Ontario. J. Env. Qual. 3:31–35.

Shady, A.M. (ed.). 1989. Irrigation, Drainage and Flood Control in Canada. Canadian National Committee on Irrigation and Drainage. Canadian International Development Agency, Hull, Que.

Statistique Canada. 1986. Handbook of Agricultural Statistics. Catalogue 21-503. Agriculture Division, Statistics Canada, Ottawa, Ont.

## Chapitre 11 :

Adamowicz, W.L. and T.M. Horbulyk. 1996. The Role of Economic Instruments to Resolve Water Quantity Problems. Can. J. Agric. Econ. 44:337–344.

Administration du rétablissement agricole des Prairies. 1996. Issues and Opportunities Surrounding ILOs and Manure Management in Western Canada: A Discussion Paper. PFRA, Agriculture and Agri-Food Canada, Regina, Sask.

Bruce, J. and B. Mitchell. 1995. Broadening Perspectives on Water Issues. Canadian Global Change Program Incidental Report No. IR95-1. Royal Soc. Can., Ottawa, Ont.

Comité de gestion de l'environnement pour l'industrie porcine. 1997. La stratégie de gestion environnementale pour le secteur procin (SGESP) : analyse de la situation. Rapport préparé pour Agriculture et Environnement Canada. Ottawa (Ont.).

Conseil des sciences du Canada. 1988. Eau 2020: De l'eau pour demain : pour une utilisation durable de l'eau au 21e siècle. Rapport du Conseil des sciences du Canada. No. 40. Sci. Coun. Can., Ottawa (Ont.).

de Loë, R.C. 1994. Stability and Change in Southern Alberta Water Management. Unpublished Ph.D. dissertation. Dept. of Geography, Univ. of Waterloo, Waterloo, Ont.

de Loë, R.C. 1997. Policy for Ground Water Management in Ontario. Pages 59–76 in Groundwater and Agriculture: Developing Proactive Solutions. Proc. Conf. Ontario Farm Environmental Coalition, Barrie, Ont., March 2–4.

Environnement Canada. 1983. Canada Water Year Book: 1981–1982. Environment Canada, Ottawa (Ont.)

Environnement Canada. 1987. Politique fédérale relative aux eaux. Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Canada. 1997. L'étude pan-canadienne: sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique, sommaire des provinces des Prairies. Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Canada. 1997. L'étude pan-canadienne : sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique, points saillants pour les Canadiens. Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Environnement Canada. 1998. Le Canada et les eaux douces : expériences et pratiques. Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Gabriel, A. and R.D. Kreutzwiser. 1993. Drought Hazard in Ontario: A Review of Impacts, 1960–1989, and Management Implications. Can. Water Resources J. 18:117–132.

Gouvernement du Canada. 1995. La prévention de la pollution : une stratégie fédérale de mise en oeuvre. Environnement Canada, Ottawa (Ont.). Disponible sur Internet à l'adresse http://www.ec.gc.ca/pollution/strategy/plt_pl_e.htm.

Gouvernement du Canada. 1996. Vers une protection renforcée de l'environnement au Canada : nouvelle loi canadienne sur l'environnement. Environnement Canada, Ottawa (Ont.).

Keating, M., and the Canadian Global Change Program. 1997. Canada and the State of the Planet: The Social, Economic and Environmental Trends That Are Shaping Our Lives. Oxford University Press, Oxford, U.K.

Kreutzwiser, R.D. 1996. Climate Variability, Climate Change and Rural Water Supplies in the Great Lakes–St. Lawrence Basin. Environmental Adaptation Research Group, Environment Canada, Burlington, Ont.

Laycock, A.H. 1985. Water. Pages 1921–1922 in The Canadian Encyclopedia. Hurtig Publishing, Edmonton, Alta.

MacAlpine, N.D. and A. Howard. 1995. Farm Water Management Manual. Conservation Manual Series. Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Conservation and Development Branch, Edmonton, Alta.

MacAlpine, N.D., D.F. Engstrom, J. Kirtz, and S. Cooke. 1997. Resources for Beef Industry Expansion in Alberta. Publications Office, Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Alta.

MacAlpine, N.D., B. West, D. Milligan, R. D. Neilson, J. Kirtz, and M. Tautchin. 1994. Natural Resource and Environmental Issues Related to Hog Expansion in Alberta. Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Conservation and Development Branch, Edmonton, Alta.

Mitchell, B. and D. Shrubsole. 1994. Canadian Water Management: Visions for Sustainability. Can. Water Resources Assoc., Cambridge, Ont.

Nemanishen, W. 1998. Drought in the Palliser Triangle. Prairie Farm Rehabilitation Administration Drought Committee. PFRA, Calgary, Alta.

Porter, A. 1985. Electric Power. Pages 556–557 in The Canadian Encyclopedia. Hurtig Publishing, Edmonton, Alta.

Statistique Canada. 1997. Aperçu historique de l'agriculture canadienne / Statistique Canada, Division de l'agriculture. Ottawa (Ont.).

Toma and Bouma Management Consultants. 1997. The Pursuit of Quality: A Sustainable Growth Strategy for the Alberta Agri-Food Sector. Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Alta.

Williams, G.D.V., R.A. Fautley, K.H. Jones, R.B. Stewart, and E.E. Wheaton. 1988. Estimating Effects of Climatic Change on Agriculture in Saskatchewan, Canada. Pages 221–384 in M.L. Parry, T.R. Carter, and N.T. Konijin (eds.) The Impact of Climatic Variations on Agriculture Volume 1: Assessments in Cool Temperate and Cold Regions. Kluwer Academic Publishers, London, U.K.

# Renseignements sur les auteurs

*Rédacteur scientifique*
D.R. (Dick) Coote
Agricultural Watersheds Associates
37, rue Pretty, Stittsville (Ont.) K2S 1N5

*Réviseure*
L.J. (Joan) Gregorich
Gregorich Research
59, rue Hackett, Ottawa (Ont.) K1V 0P6

## Chapitre 1

D.R. (Dick) Coote, Agricultural Watersheds Associates, Stittsville (Ont.)
L.J. (Joan) Gregorich, Gregorich Research, Ottawa (Ont.)

## Chapitre 2

F.R.J. (Fred) Martin
Hydrology Unit
Administration du rétablissement agricole des Prairie,
Agriculture et Agroalimentaire Canada,
1800, rue Hamilton, Regina (Sask.) S4P 4L2
D.R. (Dick) Coote, Agricultural Watersheds Associates, Stittsville (Ont.)
B.G. (Brad) Fairley, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Canada, Regina (Sask.)
B.J. (Bob) Stewart, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Regina (Sask.)
J. (John) Lebedin, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Regina (Sask.)
A. (Andy) Bootsma, Centre de recherches de l'Est sur les céréales et oléagineux, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ont.)
P.H. (Paul) Milburn, Centre de recherches sur la pomme de terre, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Fredericton (N.-B.)
T.W. (Ted) Van der Gulik, Resource Management Branch, B.C. Ministry of Agriculture and Food, Abbotsford (C.-B.)

**Encadré :**

D.R. (David) Percy, Faculty of Law, Université de l'Alberta, Edmonton (Alb.)

## Chapitre 3

E. (Esther) Kienholz
Administration du rétablissement agricole des Prairies,
Agriculture et Agroalimentaire Canada,
11, boul. Innovation, Saskatoon (Sask.) S7N 3H5
F. (Francis) Croteau, Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Lennoxville (Québec)
G. (Gordon) Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada, Saint-André (N.-B.)
G.K. (Keith) Guzzwell, Water Resources Management Division, Department of Environment and Labour, Government of Newfoundland and Labrador, St. John's (T.-N.)
D.I. (Daniel) Massé, Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Lennoxville (Québec)
T.W. (Ted) Van der Gulik, Resource Management Branch, B.C. Ministry of Agriculture and Food, Abbotsford (C.- B.)

**Encadrés :**

H. (Harvey) Clark, Saskatchewan Irrigation Diversification Centre, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Outlook (Sask.)
E. (Esther) Kienholz, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saskatoon (Sask.)
K.B. (Kim) Stonehouse, Division of Environmental Engineering, Université de la Saskatchewan, Saskatoon (Sask.)
T.J. (Terry) Hogg et L.C. (Laurie) Tollefson, Saskatchewan Irrigation Diversification Centre, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Outlook (Sask.)
M.C. (Michel) Nolin, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy (Québec)

## Chapitre 4

D.B. (Brook) Harker
Administration du rétablissement agricole des Prairies,
Agriculture et Agroalimentaire Canada,
1800, rue Hamilton, Regina (Sask.) S4P 4L2

P.A. (Patricia) Chambers, Centre national de recherche en hydrologie, Environnement Canada, Saskatoon (Sask.)

A.S. (Allan) Crowe, Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada, Burlington (Ont.)

G. (Gordon) Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada, Saint-André (N.-B.)

E. (Esther) Kienholz, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saskatoon (Sask.)

**Encadrés :**

R.A. (Rob) Kent, Direction générale de la qualité de l'environnement, Environnement Canada, Hull (Québec)

A.S. (Allan) Crowe, Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada, Burlington (Ont.)

H. (Hugh) Liebscher, Région du Pacifique et du Yukon, Environnement Canada, Vancouver (C.-B.)

D.O. (David) Trew, Water Sciences Branch, Alberta Environment, Edmonton (Alb.)

G.S. (Gary) Bowen, Standards Development Branch, Ontario Ministry of Environment, Toronto (Ont.)

J.(Jean) Painchaud, Direction des écosystèmes aquatiques, Ministère de l'Environnement du Québec (Québec)

J.P. (Jamie) Mutch, Prince Edward Island Department of Technology and Environment, Charlottetown (Î.-P.-É.)
L.J. (Joan) Gregorich, Gregorich Research, Ottawa (Ont.)

E. (Ed) Topp, Centre de recherches du Sud sur la phytoprotection et les aliments, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, London (Ont.)

F. (Francis) Croteau et D.I. (Daniel) Massé, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Lennoxville (Québec)

B.A. (Bruce) Kirschner, Great Lakes Regional Office, Commission mixte internationale, Windsor (Ontario)

G.L. (Gordon) Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada, Saint-André (N. B.)

## Chapitre 5

P.A. (Patricia) Chambers
Centre national de recherche en hydrologie,
Institut national de recherche sur les eaux,
Environnement Canada,
11, boul. Innovation, Saskatoon (Sask.) S7N 3H5

A.-M. (Anne-Marie) Anderson, Natural Resources Service, Alberta Environment, Edmonton (Alb.)

C. (Claude) Bernard, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Sainte-Foy (Québec)

L. J. (Joan) Gregorich, Gregorich Research, Ottawa (Ont.)

B. (Brian) McConkey, Centre de recherches sur l'agriculture des prairies semi-arides, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Swift Current (Sask.)

P.H. (Paul) Milburn, Centre de recherches sur la pomme de terre, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Fredericton (N.-B.)

J. (Jean) Painchaud, Direction des écosystèmes aquatiques, Ministère de l'Environnement du Québec, Québec (Québec).

N.K. (Naveen) Patni, Centre de recherches agroalimentaires du Pacifique, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Agassiz (C.-B.)

R.R. (Régis) Simard, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy (Québec)

L.J.P. (Laurens) van Vliet, Centre de recherches agroalimentaires du Pacifique, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Agassiz (C.-B.)

**Encadrés :**

J. (Jim) Yarotski, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Regina (Sask.)

D. (Doug) Joy et S. (Shelly) Bonte-Gelok, School of Engineering, Université de Guelph, Guelph (Ont.)

C. (Craig) Merkley, Upper Thames River Conservation Authority, London (Ont.)

T.L. (Lien) Chow, P.H. (Paul) Milburn et H.W. (Herb) Rees, Centre de recherches sur la pomme de terre, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Fredericton (N.-B.)

J. (Jean) Painchaud, Direction des écosystèmes aquatiques, Ministère de l'Environnement du Québec, Québec (Québec)
P.A. (Patricia) Chambers, Centre national de recherche en hydrologie, Environnement Canada, Saskatoon (Sask.)
A.J. (Al) Sosiak, Water Management Division, Alberta Environment, Calgary (Alb.)
D.A. (Dean) Jeffries, Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada, Burlington (Ont.)
P. (Phil) Sidhwa, Terratec Environmental Ltd., Oakville (Ont.)

## Chapitre 6

G.L. (Gordon) Fairchild,
Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada
1010, chemin de l'Église
Saint-André, Grand Falls (N.-B) E3Y 2X9
D.A.J. (Dean) Barry, Department of Land Resource Science, Université de Guelph, Guelph (Ont.)
M.J. (Michael) Goss, Department of Land Resource Science, Université de Guelph, Guelph (Ont.)
A.S. (Al) Hamill, Centre de recherches sur les cultures abritées et industrielles, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Harrow (Ont.)
P. (Pierre) Lafrance, INRS-Eau, Université du Québec, Québec (Québec)
P.H. (Paul) Milburn, Centre de recherche sur la pomme de terre, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Fredericton (N.-B.)
R.R. (Régis) Simard, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy (Québec)
B.J. (Bernie) Zebarth, Centre de recherche sur la pomme de terre, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Fredericton (N.-B.)

**Encadrés :**

B.J. (Bernie) Zebarth, Centre de recherches sur la pomme de terre, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Fredericton (N.-B.)
M.J. (Michael) Goss et D.A.J. (Dean) Barry, Department of Land Resource Science, Université de Guelph, Guelph (Ont.), et D.L. (David) Rudolph, Université de Waterloo, Waterloo, (Ont.)
J.A. (John) MacLeod, J.B. Sanderson et A.J. Campbell, Centre de recherches sur les cultures et les bestiaux, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Charlottetow, (Î.-P.-É.)
P.H. (Paul) Milburn, Centre de recherches sur la pommes de terre, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Fredericton (N.-B.)

## Chapitre 7

L.J. (Joan) Gregorich
Gregorich Research
59, rue Hackett, Ottawa (Ont.) K1V 0P6
R. (Rolfe) Antonowitsch, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Regina (Sask.)
J. (Hans) Biberhofer, Direction générale de la conservation de l'environnement, Environnement Canada, Burlington (Ont.)
E. (Ed) DeBruyn, Gestion de l'habitat du poisson, Environnement Canada, Burlington (Ont.)
D.R. (Doug) Forder, Direction générale de la conservation de l'environnement, Environnement Canada, Downsview (Ont.)
S.F. (Sheila) Forsyth, Forsyth Consulting Essentials, Metcalfe (Ont.)
P.C. (Paul) Heaven, Glenside Ecological Services Ltd., Minden (Ont.)
J.G. (Jack) Imhof, Ontario Ministry of Natural Resources, Guelph (Ont.)
P.T. (Patrick) McGarry, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Winnipeg (Man.)

**Encadrés :**

S.F. (Sheila) Forsyth, Forsyth Consulting Essentials, Metcalfe (Ont.)
L.J. (Joan) Gregorich, Gregorich Research, Ottawa (Ont.)
P. (Peter) Bryan-Pulham, Township of Norfolk, Langton (Ont.)
K.W. (Ken) Cox, Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada), Ottawa (Ont.)
T.J.V. (Tim) Sopuck, Manitoba Habitat Heritage Corporation, Winnipeg (Man.)
Ontario Cattlemen's Association, Guelph (Ont.)
M.G. (Mark) Heaton, Ontario Ministry of Natural Resources, Aurora (Ont.) et V. (Vicki) Samaras, Université de Toronto, Toronto (Ont.)

C.F. (Craig) Drury, Centre de recherches sur les cultures abritées et industrielles, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Harrow (Ont.).
C.S. (Chin) Tan, Centre de recherches sur les cultures abritées et industrielles, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Harrow (Ont.).

## Chapitre 8

C. (Claude) Bernard
Institut de recherche et de développement en agroenvironnemen,t
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
G. (Gordon) Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada, Saint-André (N.-B.)
L. J. (Joan) Gregorich, Gregorich Research, Ottawa (Ont.)
M.J. (Michael) Goss, Department of Land Resource Science, Université de Guelph, Guelph (Ont.)
D.B. (Brook) Harker, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Regina (Sask.)
P. (Pierre) Lafrance, INRS-Eau, Université du Québec, Québec (Québec)
B. (Brian) McConkey, Centre de recherches sur l'agriculture des prairies semi-arides, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Swift Current (Sask.)
J.A. (John) MacLeod, Centre de recherches sur les cultures et les bestiaux, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Charlottetown (Î.-P.-É.)
T.W. (Ted) Van der Gulik, Resource Management Branch, B.C. Ministry of Agriculture and Food, Abbotsford (C.-B.)
L.J.P. (Laurens) van Vliet, Centre de recherches agroalimentaires du Pacifique, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Agassiz (C.-B.)
A. (Alfons) Weersink, Department of Agricultural Economics and Business, Université de Guelph, Guelph (Ont.)

**Encadrés :**

C. (Claude) Bernard, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Sainte-Foy (Québec), M.R. (Marc) Laverdière, Université Laval, Sainte-Foy (Québec) et M.C. (Michel) Nolin, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy (Québec)
J.J. (Jim) Miller, Centre de recherches de Lethbridge, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Lethbridge (Alb.)
M.L. (Michael) Murray, Regional Municipality of Waterloo, Kitchener (Ont.)
C.F. (Craig) Drury et C.S. (Chin) Tan, Centre de recherches sur les cultures abritées et industrielles, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Harrow (Ont.)
D.W.H. (David) Culver, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ont.)
H.B. (Harold) Rudy et A. (Andy) Graham, Ontario Soil and Crop Improvement Association, Guelph (Ont.)

## Chapitre 9

J. (Joanne) Sketchell
Rural Water Quality
Water Resource and Infrastructure Management
Sask Water
330 350, 3e av. Nord
Saskatoon (Sask.) S7K 2H6
A. (Alex) Banga, Basin Operations, Sask Water, Moose Jaw (Sask.)
P.Y.T. (Paul) Louie, Direction de la recherche climatologique, Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, North York (Ont.)
N. J. (Nolan) Shaheen, Hydrogeologic Services, Sask Water, Moose Jaw (Sask.)
T.W. (Ted) Van der Gulik, Resource Management Branch, British Columbia Ministry of Agriculture and Food, Abbotsford (C.-B.)
R.J. (Ron) Woodvine, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Regina (Sask.)

**Encadrés :**

E.A. (Eric) Jackson, Water Reclamation Department, Ville de Vernon, Vernon (C.-B.)
E. (Ernie) Hui, Alberta Environment, Edmonton (Alb.)
T.J. (Janine) Nyval et T.W. (Ted) Van der Gulik, British Columbia Ministry of Agriculture and Food, Abbotsford (C.-B.)
A. (Amir) Shabbar, Surveillance du climat et interprétation des données, Environnement Canada, Downsview (Ont.)
A.(Alex) Banga, Basin Operations, Sask Water, Moose Jaw (Sask.)
J.P. (Jamie) Mutch, Prince Edward Island Department of Technology and Environment, Charlottetown (Î.-P.-É.)
N.J. (Nolan) Shaheen, Hydrogeologic Services, Sask Water, Moose Jaw (Sask.)

## Chapitre 10

T.W. (Ted) Van der Gulik,
Resource Management Branch
British Columbia Ministry of Agriculture and Food,
1767, Route Angus Campbel
Abbotsford (C.-B.) V3G 2M3
L.H. (Leo) Christl, Lands and Natural Heritage Branch, Ontario Ministry of Natural Resources, Peterborough (Ont.)
D.R. (Dick) Coote, Agricultural Watersheds Associates, Stittsville (Ont.)
C.A. (Chandra) Madramootoo, Centre Brace pour la gestion des ressources en eau, Université McGill, Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec)
T.J. (Janine) Nyvall, Resource Management Branch, B.C. Ministry of Agriculture and Food, Abbotsford (C.-B.)
T.J.V. (Tim) Sopuck, Manitoba Habitat Heritage Corporation, Winnipeg (Man.)

**Encadrés :**
G. (Gordon) Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada, Saint André (N.-B.)
T.J. (Terry) Hogg et L.C. (Laurie) Tollefson, Saskatchewan Irrigation Diversification Centre, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Outlook (Sask.)
J. (Joanne) Howery, Alliance Professional Services, Winfield (C.-B.)

## Chapitre 11

J.J. (Jim) Miller
Centre de recherches de Lethbridge,
Agriculture et Agroalimentaire Canada,
Direction générale de la recherche,
B.P. 3000, Main
Lethbridge (Alb.) T1J 4B1
K.F.S.L. (Karen) Bolton, Pork Central Branch, Saskatchewan Agriculture and Food, Regina (Sask.)
R.C. (Rob) de Loë, Department of Geography, Université de Guelph, Guelph (Ont.)
R.D. (Reid) Kreutzwiser, Department of Geography, Université de Guelph, Guelph (Ont.)
N.D. (Neil) MacAlpine, Environmental Strategy Support Team, Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton (Alb.)
L. (Len) Ring, Irrigation Secretariat, Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Lethbridge (Alb.)
T.S. (Terry) Veeman, Department of Rural Economy, Université de l'Alberta, Edmonton (Alb.)

**Encadrés :**
R.D. (Reid) Kreutzwiser et R. (Rob) de Loë, Université de Guelph, Guelph (Ont.)
L.M. (Lisa) Wenger and L.D. (Linda) Mortsch, Environmental Adaptation Research Group, Environment Canada, Université de Waterloo, Waterloo (Ont.)
N.D. (Neil) MacAlpine, Environmental Strategy Support Team, Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton (Alb.)
G. (Gordon) Fairchild, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada, Saint André (N.-B.)
E.R. (Ted) Pidgeon, Bureau de l'environnement, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ont.)

## Chapitre 12

C. (Christian) De Kimpe
Direction de la planification et de la coordination de la recherche,
Direction générale de la recherche,
Agriculture et Agroalimentaire Canada,
930, av. Carling
Ottawa (Ontario) K1A 0C5
L.J. (Joan) Gregorich, Gregorich Research, Ottawa (Ontario)
D.R. (Dick) Coote, Agricultural Watersheds Associates, Stittsville (Ontario)

# Remerciements

C'est à Christian De Kimpe, d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, que l'on doit d'avoir entrepris la publication de cet ouvrage. Les discussions préliminaires sur la planification de ce rapport ont eu lieu à l'occasion d'un atelier auquel participaient Bruce Bowman, Reinder de Jong, Christian De Kimpe, John Lebedin, Wayne Lindwall, Bruce MacDonald, Paul Milburn, Gregory Wall, Tim Wright et Bernie Zebarth, tous d'Agriculture et Agroalimentaire Canada; Patricia Chambers et Allan Crowe, d'Environnement Canada; David Sharpe, de Ressources naturelles Canada; Ted Van der Gulik, du ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation de Colombie-Britannique; Scott Wright, du Centre de diversification des cultures du Manitoba; Jean Painchaud, du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec; Petra Loro, du ministère de l'Agriculture et du Développement rural du Nouveau-Brunswick; David Rudolph, de l'Université de Waterloo; Trevor Dickinson, de l'Université de Guelph; Jim Webber, du Eastern Irrigation District, en Alberta; Jeff Wilson et Tiffany Svensson, de la Fédération de l'agriculture de l'Ontario; et, enfin, Dick Coote, de Agricultural Watersheds Associates.

Cet atelier a abouti à la création d'un comité directeur composé des personnes suivantes : Christian De Kimpe, Brad Fairley, Brook Harker, John Lebedin, Bruce MacDonald, Paul Milburn, Michel Nolin, Tim Wright, Ted Van der Gulik et Bernie Zebarth.

Les rédacteurs et les auteurs de cet ouvrage tiennent à remercier les organismes suivants de l'appui qu'ils leur ont apporté dans la réalisation de ce projet : La Direction générale de la recherche, l'Administration du rétablissement agricole des Prairies et le Bureau de l'environnement d'Agriculture et Agroalimentaire Canada; la Direction générale de la qualité de l'environnement, l'Institut national de recherche sur les eaux et le Centre national de recherche en hydrologie d'Environnement Canada; le ministère des Pêches et des Océans; le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de Colombie-Britannique; Alberta Agriculture, Food and Rural Development; Alberta Environment; Saskatchewan Agriculture and Food; Saskatchewan Water Corporation; le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario; le ministère de l'Environnement de l'Ontario; le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario; le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec; le ministère de l'Environnement du Québec; le ministère de l'Environnement de l'Île du-Prince-Édouard; le ministère de l'Environnement et du Travail de Terre-Neuve; l'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario; le Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est de l'Ontario; l'Université d'Alberta; l'Université de Saskatchewan; l'Université de Guelph, l'Université du Québec; l'Université Laval; l'Université McGill; la Commission mixte internationale; Habitat faunique Canada; Canards Illimités; la Société protectrice du patrimoine écologique du Manitoba; le Conseil nord-américain de conservation des terres humides (Canada); le canton de Norfolk (Ontario) et la municipalité régionale de Waterloo.

Les personnes dont les noms suivent ont revu ce livre en totalité ou en partie :

Ron Bazuk, Sask Water, Moose Jaw (Saskatchewan)
R.J. Bowering, Direction générale des ressources hydriques, Ressources naturelles Manitoba, Winnipeg (Manitoba)
David Briggins, Department of the Environment de Nouvelle-Écosse, Halifax (N.-É.)
Karen Brown et al., Service de conservation de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario)
Jean-Louis Daigle, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada, Saint-André (N.-B.)
Jérôme Damboise, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada, Saint-André (N.-B.)
John C. Davis et al., Direction générale des sciences, Pêches et Océans Canada, Ottawa (Ontario)
Shelley Forrester, Direction générale de gestion de l'eau, ministère de l'Environnement, des Terres et des Parcs de Colombie-Britannique, Victoria (C.-B.)
Marc Hinton, Commission géologique du Canada, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)
Mathew W. King et al., Direction générale des océans, Pêches et Océans Canada, Ottawa (Ontario)
Mike Langman, Direction générale de la gérance des ressources, Department of Agriculture and Marketing de Nouvelle-Écosse, Truro (N.-É.)
Maurice Lewis, Association canadienne des eaux souterraines, Lousana (Alberta)
J.Z. Losos et al., Direction générale de protection de la santé, Santé Canada, Ottawa (Ontario)
Hazen Scarth, gouvernement de Terre-Neuve et du Labrador, St. John's (T.-N.)

Dave Sharpe, Commission géologique du Canada, Ressources naturelles Canada, Ottawa (Ontario)
Judy Shaw, Institut canadien pour la protection des cultures, Etobicoke (Ontario)
Personnel, Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Regina (Saskatchewan)
Wendy Sexsmith, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, Santé Canada, Ottawa (Ontario)
John Theakston, Department of the Environment de Nouvelle-Écosse, Halifax (N.-É.)

En outre, les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes de leurs diverses contributions à certains chapitres de ce rapport.

*Chapitre 2*
Jim Yarotski et Ron Woodvine, Administration du rétablissement agricole des Prairies; Peter Schut, Stan Alwar, Phil Gallien et Gary Leafloor , Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada.

*Chapitre 3*
Laurie Tollefson et Donalda Johnston, Administration du rétablissement agricole des Prairies; Kim Stonehouse, Université de Saskatchewan; Brian Taylor, Alberta Agriculture, Food, and Rural Development; Glenda Mason, Dave Lacelle, Dave Scharf et Uwe Schneider, Environnement Canada; et Michel Nolin, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada.

*Chapitre 4*
Allan Cessna et Jane Elliott, Environnement Canada; Glenn Winner, Alberta Environment.

*Chapitre 5*
Allan Cessna, David Donald, Jane Elliott et John Struger, Environnement Canada.

*Chapitre 6*
John MacLeod, Agriculture et Agroalimentaire Canada; Garth van der Kamp, Environnement Canada; Denis Moerman, Department of Agriculture and Marketing de Nouvelle-Écosse; George Somers et Clair Murphy, ministère de la Technologie et de l'Environnement de l'Île-du-Prince-Édouard; Haseen Khan, ministère de l'Environnement et du Travail du gouvernement de Terre-Neuve et du Labrador; Jan van de Hulst, ministère des Ressources forestières et de l'Agroalimentaire du gouvernement de Terre-Neuve et du Labrador; Jean-Louis Daigle et Jérôme Damboise, Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada; David Briggins, ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Écosse.

*Chapitre 7*
Christine Bishop, Reg Melanson, John Struger et Ken Tuininga, Environnement Canada; Craig Merkley, Upper Thames River Conservation Authority; Caroline Caza, Habitat faunique Canada; et D. Chekay et H. Murkin, Canards Illimités.

*Chapitre 8*
Jane Elliott, Environnement Canada.

*Chapitre 10*
Joanne Howery, Alliance Professional Services.

Les rédacteurs adressent leurs plus sincères remerciements aux coordonnateurs des chapitres, aux auteurs des chapitres, des encadrés et des études de cas, à toutes les personnes dont le nom est mentionné ci-dessus et à quantité d'autres qui ont également contribué à la réalisation de cet ouvrage, mais dont le nom ne figure pas dans ce générique.

## Crédits photos

*Chapitre 1*
*Irrigation des cultures* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
*Abreuvement du bétail* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
*Usage domestique d'eau* : L.J. Gregorich

*Chapitre 2*
*Lac en C.-B.* : D.R. Coote
*Mare-réservoir* : Administration du rétablissement agricole des Prairies
*Drainage agricole ...* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
*Puits domestique* : Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada

*Chapitre 3*
*Installation de pipelines* : Administration du rétablissement agricole des Prairies
Photo, eau embouteillée : E.G. Gregorich

*Chapter 4*
Photo, laboratoire de chimie analytique : Institut national de recherche sur les eaux
*Prélèvement ... eau de surface* : Institut national de recherche sur les eaux
*Prélèvement ... eau souterraine* : Institut national de recherche sur les eaux

*Dépôt solide ...* : Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada
*Eutrophisation d'un fossé ...* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
*Utilisation de pesticides* : Administration du rétablissement agricole des Prairies

*Chapitre 5*
*Fossé comblé par du sol éolien ...* : D.R. Coote
*Érosion causée ...* : D.R. Coote
*Épandage de pesticides* : Agriculture et Agroalimentaire Canada
Photo, l'Ontario rural : Agriculture et Agroalimentaire Canada

*Chapitre 6*
*Irrigation* : Administration du rétablissement agricole des Prairies
*Culture intensive* : C. Bernard
*Élevage intensif* : J.J. Miller
Photo, champ de pommes de terre : Agriculture et Agroalimentaire Canada
*Forage d'un puits ...* : Institut national de recherche sur les eaux

*Chapitre 7*
Photo, tortue : Upper Thames River Conservation Authority
Photo, canard : Canards Illimités Canada
*Cours d'eau* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
*Drain agricole* : K.D. Switzer-Howse
*Petit étang de ferme* : Administration du rétablissement agricole des Prairies
*Bande de protection riveraine* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
*Mouillère* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
*Installation de LUNKERS ....* : Upper Thames River Conservation Authority
*Plantation d'arbres ...* : Upper Thames River Conservation Authority
*Clôtures limitant ...* : Upper Thames River Conservation Authority
*L'attrait de l'eau ...* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario

*Chapitre 8*
*Culture en bandes* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
*Culture intercalaire* : C. Bernard
*Plantes couvre-sol d'hiver* : Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada
*Conservation du sol ...*: Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
*Culture en courbes ...*: Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada
*Voie d'eau gazonnée* : C.S. Baldwin
Photo, tas de fumier : D. Côté
*Labourage de lisier liquide* : E.G. Beauchamp
*Épandage de fumier* : J.J. Miller
*Brise-vent* : Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada
*Parachèvement ... d'un manuel ...* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario

*Chapitre 9*
*Effet de la sécheresse* : Administration du rétablissement agricole des Prairies
*Compteur d'eau* : T.W. Van der Gulik
*Efficacité du goutte-à-goutte en pomiculture* : T.W. Van der Gulik

*Chapitre 10*
*Drainage d'une infiltration saline* : Agriculture et Agroalimentaire Canada
*Le drainage imparfait...* : C.S. Baldwin
*Culture maraîchère...*: Agriculture et Agroalimentaire Canada
*Pose de tuyau d'évacuation* : T.W. Van der Gulik
*Sortie d'un tuyau de drainage* : T.W. Van der Gulik

*Chapitre 11*
*Saskatoon : . . .* : Administration du rétablissement agricole des Prairies
*La pêche d'agrément* : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario
Photo, porcherie : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario

*Chapitre 12*
Photo, coucher de soleil : Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario


2000
Canada